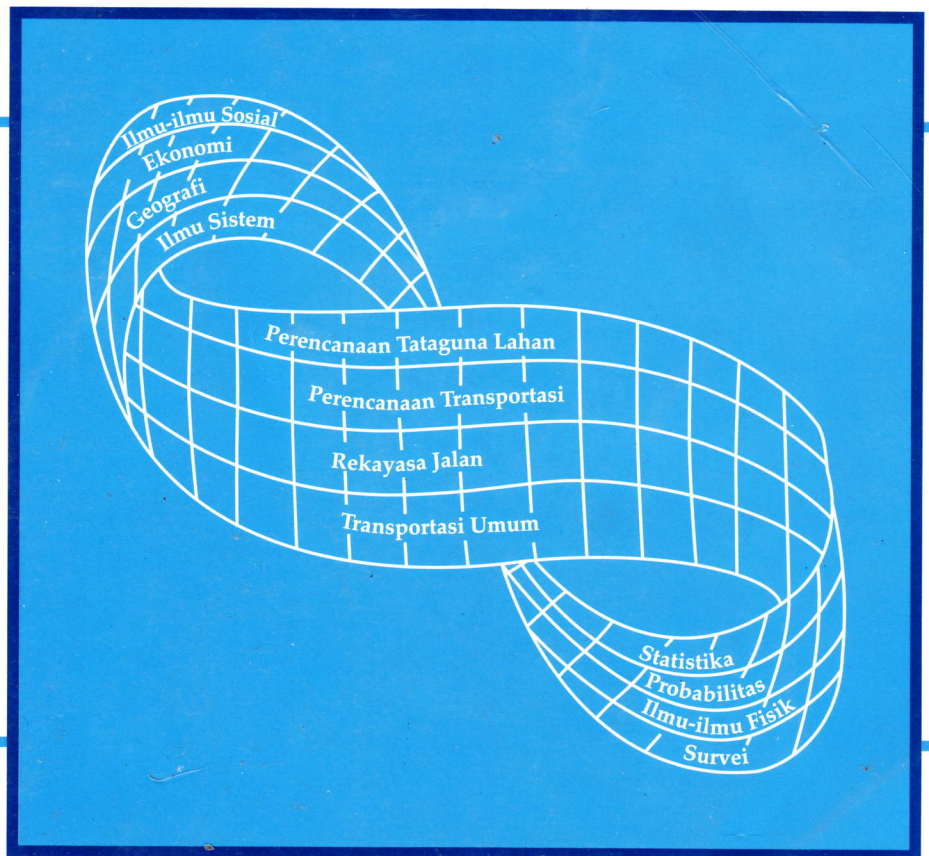


Edisi Ketiga

Dasar-dasar Rekayasa Transportasi

Jilid 1



AKAAN
TIMUR

C. Jotin Khisty

B. Kent Lall

Dasar-dasar Rekayasa Transportasi



kmkosipil.blogspot.com

Dasar-dasar Rekayasa Transportasi

Edisi Ketiga

Jilid I

C. Jotin Khisty

Illinois Institute of Technology, Chicago

B. Kent Lall

Portland State University, Portland



PENERBIT ERLANGGA

Jl. H. Baping Raya No. 100

Ciracas, Jakarta 13740

<http://www.erlangga.co.id>

e-mail: editor@erlangga.net

(Anggota IKAPI)

Khisty, C. Jotin

Dasar-dasar rekayasa transportasi / C.
Jotin Khisty, B. Kent Lall ; alih bahasa, Fidel Miro ;
editor, Lameda Simarmata. -- Ed. 3. Jakarta : Erlangga, 2005.
... hlm. ; ... cm.

Judul asli : Transportation engineering.
Indeks.

ISBN 979-741-561-9 (no. jil. lengkap)

ISBN 979-741-562-7 (jil. 1)

ISBN 979-741-563-5 (jil. 2)

310.628/BPP/P107
MILIK

Badan Perpustakaan
Propinsi Jawa Timur

- | | | |
|-------------------|------------------------|-------------------|
| 1. Pengangkutan | I. Judul. | II. Lall B. Kent. |
| III. Miro, Fidel. | IV. Simarmata, Lameda. | |

388

Buku ini terbit atas kerjasama Penerbit Erlangga dengan Pusat Perbukuan Depdiknas

Dasar-dasar Rekayasa Transportasi/Edisi Ke-3/Jilid 1

C. Jotin Khisty, B. Kent Lall

Judul Asli: **Transportation Engineering: An Introduction/Third Edition**

C. Jotin Khisty, B. Kent Lall

Authorized translation from the English language edition, entitled TRANSPORTATION ENGINEERING: AN INTRODUCTION, 3rd Edition, ISBN: 0130335606 by KHISTY, C. JOTIN; LALL B. KENT, published by Pearson Education, Inc, publishing as Prentice Hall, Copyright©2003

Hak terjemahan dalam Bahasa Indonesia pada *Penerbit Erlangga*
berdasarkan perjanjian pada tanggal 25 Maret 2003

Alih Bahasa: **Fidel Miro, MStr.**
Universitas Bung Hatta, Padang

Editor: Lameda Simarmata, S.T.

Buku ini diset dan dilayout oleh Bagian Produksi *Penerbit Erlangga*
dengan Power Macintosh G4 (Times 10)

Setting oleh: Tim Setting Perti

Dicetak oleh: **PT. Gelora Aksara Pratama**

09 08 07 06 05 7 6 5 4 3 2 1

All rights reserved. No part of this book maybe reproduced or transmitted in any form or by any means, electronic or mechanical, including photocopying, recording or by any information storage retrieral system, without permission from *Penerbit Erlangga*.

Dilarang keras mengutip, menjiplak, memfotokopi, atau memperbanyak dalam bentuk apa pun, baik sebagian atau keseluruhan isi buku ini serta memperjualbelikannya tanpa izin tertulis dari Penerbit Erlangga.

© HAK CIPTA DILINDUNGI OLEH UNDANG-UNDANG

*Saya persembahkan buku ini sebagai kenangan
akan ayah saya, Dr. B. R. Khisty, dokter
dan ahli bedah, filsuf dan guru, yang
memperkenalkan saya kepada "music of the
spheres."*

C. JOTIN KHISTY

*Teruntuk istriku, Margaret Vivienne, dan putraku,
Niren Nicolaus, yang membantuku mengenal
diriku sendiri*

B. KENT LALL

Daftar Isi

PRAKATA EDISI KETIGA

XI

PRAKATA EDISI PERTAMA

XIII

1. TRANSPORTASI SEBAGAI SEBUAH SISTEM

1. Pendahuluan, 1
2. Ruang Lingkup Rekayasa Transportasi, 5
3. Aplikasi Teknik Transportasi, 5
4. Sifat Dasar Teknik Transportasi, 6
5. Pendekatan Sistem, 7
6. Penentuan Kebijakan Transportasi, 8
7. Pergerakan dan Transportasi, 9
8. Sekilas tentang Karakteristik-karakteristik Sistem Transportasi, 10
9. Sistem, Tingkatan, dan Klasifikasi Transportasi, 13
10. Komunikasi, Transportasi, dan Kesenjangan Transpor, 16
11. Transportasi dan Masalah-masalah yang Berhubungan dengan Transportasi, 19
12. Transportasi dan Kesenambungan, 22
13. Pembangunan Teknologi Transportasi, 23
14. ISTEА dan TEА-21, 24
 - Rangkuman, 26
 - Daftar Pustaka, 27
 - Soal-soal Latihan, 28

2. EKONOMI TRANSPORTASI

30

1. Ruang Lingkup Ekonomi Transportasi, 30
2. Permintaan Transportasi, 31
3. Permintaan, Penawaran, dan Keseimbangan, 33
4. Sensitivitas Permintaan Perjalanan, 34
5. Faktor-faktor yang Mempengaruhi Elastisitas, 37
6. Model Permintaan Kraft, 39
7. Elastisitas Langsung dan Elastisitas Silang, 41
8. Nilai Surplus Konsumen, 42
9. Biaya, 45
10. Kebijakan Harga dan Subsidi, 50
 - Rangkuman, 53
 - Daftar Pustaka, 53
 - Soal-soal Latihan, 53

3. SISTEM TATA-GUNA LAHAN/TRANSPORTASI	59
1. Pendahuluan, 59	
2. Komponen-komponen Sistem Wilayah Perkotaan, 59	
3. Konsep dan Definisi, 61	
4. Kriteria untuk Mengukur dan Membandingkan Struktur Wilayah Perkotaan, 63	
5. Beberapa Teori dan Topik Pilihan, 64	
6. Tata-Guna Lahan dan Transportasi, 74	
7. Pertumbuhan atau Penurunan Wilayah Perkotaan, 77	
8. Karakteristik-karakteristik Prediksi dan Rencana Tata-Guna Lahan, 78	
Rangkuman, 87	
Daftar Pustaka, 88	
Soal-soal Latihan, 88	
4. KARAKTERISTIK KENDARAAN DAN MANUSIA	94
1. Pendahuluan, 94	
2. Sebuah Kerangka Kerja Sederhana, 95	
3. Persepsi Reaksi, 100	
4. Strategi Pengemudi, 101	
5. Karakteristik Kendaraan, 102	
6. Kinematika Kendaraan, 102	
7. Karakteristik-karakteristik Dinamik Kendaraan Bergerak, 106	
8. Gesekan Ban, 108	
Rangkuman, 111	
Daftar Pustaka, 111	
Soal-soal Latihan, 112	
5. KARAKTERISTIK ARUS LALU-LINTAS	114
1. Pendahuluan, 114	
2. Sifat-sifat Arus Lalu-Lintas, 114	
3. Pendekatan untuk Memahami Arus Lalu-Lintas, 115	
4. Parameter yang Berhubungan dengan Arus Lalu-Lintas, 115	
5. Kategori-kategori Arus Lalu-Lintas, 124	
6. Model Arus Lalu-Lintas Tak Terhenti, 125	
7. Analisis Hubungan Kecepatan, Arus, dan Kepadatan, 126	
8. Studi Empiris tentang Karakteristik Arus Lalu-Lintas, 128	
9. Diagram-diagram Trayek, 136	
10. Model Umum untuk Arus Aliran Kendaraan, 143	
11. Moda-moda yang Dikendalikan secara Individual Versus secara Terpusat, 150	
Rangkuman, 152	
Daftar Pustaka, 153	
Soal-soal Latihan, 153	
6. DESAIN GEOMETRIS JALAN RAYA	158
1. Pendahuluan 158	

2.	Desain Lokasi, 158	
3.	Kriteria Desain dan Pengendalian Desain, 159	
4.	Elemen-elemen Desain, 173	
5.	Elemen-elemen Penampang Melintang, 202	
	Rangkuman, 211	
	Daftar Pustaka, 211	
	Soal-soal Latihan, 212	
7.	KAPASITAS JALAN RAYA	214
1.	Pendahuluan, 214	
2.	Kapasitas Jalan Raya dan Tingkat Pelayanan, 215	
3.	Studi-studi Dasar mengenai Kapasitas Jalan Tol, 216	
4.	Kapasitas Jalan Raya Multi-Lajur, 233	
5.	Kapasitas Jalan Raya Dua-Lajur, 244	
	Rangkuman, 270	
	Daftar Pustaka, 271	
	Soal-soal Latihan, 271	
8.	DESAIN DAN PENGENDALIAN PERSIMPANGAN	274
1.	Pendahuluan, 274	
2.	Jenis-jenis Persimpangan, 274	
3.	Pertimbangan dan Tujuan Desain, 275	
4.	Peralatan Pengendali Lalu-lintas, 275	
5.	Daerah-daerah Persinggungan di Persimpangan Jalan, 278	
6.	Jenis-jenis Pengendalian Persimpangan, 278	
7.	Lampu Lalu-Lintas, 284	
	Rangkuman, 318	
	Daftar Pustaka, 318	
	Soal-soal Latihan, 319	
APENDIKS A:	ELEMEN-ELEMEN EKONOMI TEKNIK	321
APENDIKS B:	PENERAPAN PROBABILITAS DAN STATISTIKA	330
APENDIKS C:	STATISTIK UMUM MENGENAI SISTEM DAN PENGGUNAAN TRANSPORTASI DI AMERIKA SERIKAT	362
APENDIKS D:	TABEL KONVERSI UNTUK SATUAN-SATUAN PENGUKURAN	379
INDEKS		382

Prakata Edisi Ketiga

Upaya untuk menjelaskan sifat dari hubungan-hubungan yang selalu ada di dalam dunia transportasi dan komponen-komponennya yang jumlahnya sangat besar merupakan tantangan bagi para pendidik ilmu transportasi. Syukurlah buku yang berada di hadapan Anda ini menjelaskan banyak hal tentang interaksi dan kompleksitas ini, di samping masalah-masalah desain yang mengikutinya. Tantangan lain yang datang dari teknik transportasi, sebagai suatu disiplin ilmu yang relatif masih muda, adalah bahwa para profesional harus terus-menerus berhadapan dengan beraneka ragam masalah baru yang bermunculan lebih cepat daripada apa yang dapat mereka atasi. Singkatnya, dunia transportasi adalah dunia yang menantang sekaligus menyenangkan.

Tujuan dari edisi ketiga ini, seperti kedua edisi sebelumnya, adalah membahas hal-hal penting yang berhubungan dengan rekayasa lalu-lintas (*traffic engineering*) dan perencanaan transportasi pada tingkat dasar, dan memberikan pemahaman dasar dan seperangkat konsep desain bagi para mahasiswa. Target utama buku ini adalah para mahasiswa tingkat-akhir perguruan-tinggi dan mahasiswa tingkat master (S2) yang mengambil jurusan teknik sipil, atau bisa juga mereka yang mengambil jurusan perencanaan kota, ekonomi, manajemen, dan disiplin ilmu lainnya yang berhubungan. Orientasi buku ini pragmatis dan multidisipliner, menjelaskan baik kepada para mahasiswa maupun kepada praktisi berbagai contoh kasus yang mengilustrasikan konsep-konsep dasar, membahas topik-topik perencanaan transportasi dan teknik lalu-lintas yang lebih luas daripada yang diberikan oleh buku-buku sejenis.

Walaupun secara umum susunan buku edisi ketiga ini relatif sama dengan edisi-edisi terdahulu, beberapa bab telah direvisi total, dengan mengacu ke Buku Petunjuk Kapasitas Jalan Raya (*Highway Capacity Manual*) yang diterbitkan pada tahun 2000 oleh Badan Riset Transportasi Amerika Serikat, dan referensi terbaru tentang desain geometris dari AASHTO Publications. Penambahan lainnya adalah tiga lampiran baru yang semakin melengkapi edisi ini. Lampiran B memuat dasar-dasar statistika dan probabilitas yang sering digunakan dalam rekayasa transportasi. Lampiran C dan D berisi materi yang disarikan dari Biro Statistik Transportasi, Departemen Transportasi, Washington DC. Sedikit perubahan telah dilakukan di sana-sini pada setiap bab yang mencerminkan berbagai perubahan dalam praktek desain dan kebijakan-kebijakan yang terjadi sejak edisi kedua.

Banyak mahasiswa, profesional, dan kolega yang penasaran ingin mengetahui arti penting dari pita Möbius yang Anda lihat di sampul depan buku ini. Dengan senang hati, kami akan menjelaskannya. Pita Möbius menerangkan sedikit banyak mengenai karakter dan kompleksitas interdisipliner yang melekat pada dunia transportasi, yang merupakan salah satu dari ciri khas dari bidang ini. Hal ini merupakan kebalikan dari karakteristik geometris dan karakteristik topologis dunia transportasi yang justru menarik dan istimewa. Dalam dunia nyata, pita Möbius

hanya memiliki satu tepi dan satu sisi saja. Jika Anda membayangkan diri Anda berdiri di atas pita tersebut, Anda akan melihat dua tepi dan dua sisi. Akan tetapi, ketika Anda mulai berjalan menyusuri pita, Anda akhirnya akan kembali ke posisi semula dan baru menyadari bahwa akhirnya ternyata Anda telah berdiri di sisi lain pita. Dan memang demikianlah halnya, pita Möbius mencerminkan sifat dasar teknik transportasi yang interdisipliner, terdiri dari berbagai disiplin ilmu yang tergabung menjadi satu—hal yang *satu*, tetapi di dalamnya tersirat juga hal yang *banyak*. Adalah satu kebetulan semata apabila dilihat dari sejarahnya teknik transportasi dimasukkan ke dalam ilmu teknik sipil dan juga satu kebetulan semata apabila kemajuan mutakhir dalam disiplin ilmu ini akan mengharuskan dibentuknya satu departemen tersendiri untuk teknik transportasi ini.

Kedua pengarang menyampaikan rasa terima kasih kepada seluruh kolega, profesional, dan mahasiswa kami yang telah memberikan saran atas penyempurnaan buku edisi ketiga ini. Beberapa murid kami, di masa lalu dan saat ini, telah membantu kami dalam merevisi edisi ini; mereka adalah Dr. P.S. Sriraj, Dr. Cemal Ayvalick, Turan Arslan, Porson Chantra, Sagar Sonar, Sameer Patil, dan Edward Anderson. Kami juga berterima kasih kepada Peter T. Martin, Utah Traffic Laboratory, dan Shashi Sathisan Nambisan, University of Nevada—Howard K. Hughes College of Engineering, yang telah menelaah seluruh naskah. Terimakasih juga kepada Jenny Kincaid dan Margaret Lall atas bantuannya yang tak ternilai dalam pemeriksaan akhir seluruh bab buku ini. Kami juga menyampaikan penghargaan atas dukungan yang telah diberikan oleh Kevin Bradley, Sunflower Publishing Services dan Laura Fischer dari Prentice Hall.

Yang terakhir, kami akan menghargai dan berterimakasih atas seluruh masukan, kritik, dan koreksi dari para pembaca.

C. JOTIN KHISTY

B. KENT LALL

Prakata Edisi Pertama

Tujuan utama buku ini adalah membahas topik-topik utama yang berhubungan dengan rekayasa, perencanaan, dan manajemen transportasi pada tingkat pengantar. Isi buku ini terutama ditujukan bagi para mahasiswa tahun ketiga dan tahun keempat program S-1 yang mengambil jurusan teknik sipil, dan pada tingkat master/S2 pada disiplin ilmu geografi perkotaan, ekonomi, administrasi publik dan perencanaan kota dan wilayah. Para praktisi yang bekerja secara langsung atau tidak langsung dalam dunia transportasi juga akan merasakan manfaat buku ini. Bagi mereka, buku ini ditujukan untuk memberikan latar belakang dan informasi yang memadai dalam menyusun rujukan untuk penjelasan tingkat lanjut, apabila dibutuhkan. Tenaga non-profesional dan staf teknik yang menghendaki pemahaman singkat tentang implikasi teknis dari problematika, metode, dan prosedur, yang berhubungan dengan transportasi khususnya, diharapkan juga akan terbantu dengan buku ini.

Buku ini juga terbukti baik bagi mahasiswa pada tingkat awal maupun bagi para mahasiswa tingkat akhir yang ingin mengulang kembali sekaligus mengintegrasikan pengetahuan yang telah mereka peroleh sebelumnya. Sejumlah contoh kasus disajikan dalam tiap bab untuk memberikan penekanan bagi isinya, dan soal-soal latihan dengan segala kompleksitasnya dapat dijumpai di bagian akhir dari tiap bab. Tersedia juga buku panduan bagi para pengajar

Rekayasa dan perencanaan transportasi telah berkembang pesat berkat upaya bersama dari para insinyur, ahli perencanaan, ahli ekonomi, ahli geografi, ahli matematika, ahli fisika, dan ahli sosial. Transportasi merupakan sebuah bidang studi multidisipliner yang telah menciptakan permasalahan tersendiri dalam hal pengajaran, khususnya di jurusan teknik sipil. Beberapa di antara masalah-masalah tersebut adalah kurangnya buku pengantar yang tepat guna, lengkap, dan harganya terjangkau; kelemahan umum para mahasiswa dalam bidang seperti mikroekonomi dan statistik, yang dibutuhkan untuk memahami problematika transportasi; kurangnya pemahaman tentang pendekatan sistem yang dibutuhkan untuk menghadapi isu-isu sosioekonomi yang berhubungan dengan transportasi; kurangnya apresiasi terhadap sifat alamiah masalah dunia nyata yang mengandung falsafah-falsafah: multi-variabel, terbuka akan banyak kemungkinan, selalu menimbulkan konflik, dan mengutamakan nilai; dan kurangnya pembahasan mengenai prinsip-prinsip transportasi dari sudut pandang yang berorientasi pada modal (Khisty, 1986, 1987).

Pertanyaan yang muncul dari berbagai permasalahan di atas adalah: Seperti apakah pendidikan teknik transportasi yang tepat dalam program sarjana untuk teknik sipil? Apakah yang diharapkan oleh dunia kerja dari seorang sarjana teknik sipil? Bagaimanakah mata kuliah transportasi seharusnya dikembangkan agar dapat memenuhi kebutuhan sebagian besar mahasiswa teknik sipil yang sama sekali tidak tertarik untuk meneruskan pendidikannya ke bidang transportasi, namun di saat yang sama dapat merangsang sebagian kecil dari mereka yang memang memiliki minat besar untuk menekuni bidang transportasi?

Meskipun gelar master dianggap oleh sebagian pendidik dan praktisi sebagai gelar spesialisasi dalam bidang transportasi, hanya sedikit lulusan S1 yang memilih program master dalam *bidang teknik sipil* (*MSCE / Master of Science in Civil Engineering*) dengan bidang peminatan transportasi.

Hal ini tidaklah mengejutkan. Apabila dunia industri membayar seorang sarjana sipil dengan gaji awal yang relatif tinggi, para insinyur ini akan kehilangan motivasi untuk melanjutkan ke tingkat master. Pola pikir ini mulai berubah.

Peletakan dasar yang benar tentang prinsip-prinsip transportasi merupakan hal yang esensial karena Sarjana Teknik Sipil yang diterima bekerja magang di kantor-kantor pemerintahan federal pemerintah, negara-bagian dan pemerintah lokal Amerika Serikat, demikian pula di perusahaan-perusahaan konstruksi, desain dan konsultan, sangat mungkin hanya pernah memperoleh satu kali saja kuliah tentang rekayasa transportasi! Selama bertahun-tahun, telah terjadi perdebatan tentang apa yang harus diajarkan atau dimasukkan dalam kuliah transportasi karena tidak satu pun pendapat yang sama di antara para dosen / pengajar tentang topik teknik transportasi apa yang harus diajarkan bagi para insinyur sipil yang ambisius ini.

Beberapa waktu yang lalu, seorang penulis buku transportasi melakukan sebuah survei terhadap para profesor yang mengajar transportasi untuk menentukan kandungan apa yang harus dimasukkan ke dalam kuliah transportasi sebagai sebuah persyaratan dalam kurikulum TS (Wright, 1983). Untuk menindaklanjuti hasil survei ini, sang penulis melakukan sebuah survei lain untuk mengidentifikasi sudut pandang para praktisi transportasi yang bekerja untuk departemen transportasi, pemerintah negara bagian, pemerintah daerah dan perusahaan swasta. Para praktisi tersebut diminta untuk mengevaluasi 30 topik penting yang mungkin dapat dimasukkan ke dalam kuliah transportasi bagi mahasiswa TS. Tabel P-1 menunjukkan 20 topik yang diranking dengan nilai dalam skala 5. Tabel ini juga memperlihatkan, sebagai perbandingan, 10 topik yang mendapat nilai tertinggi dari sudut pandang para tenaga pengajar. Di sini terlihat bahwa ternyata terdapat sedikit perbedaan ekspektasi dari sudut pandang tenaga pengajar dan para praktisi dalam menentukan prioritas topik perkuliahan transportasi (Khisty, 1986).

Pembicaraan dengan para praktisi yang diwawancara di dalam survei yang saya lakukan menghasilkan beberapa observasi, pandangan, dan saran umum yang berhubungan dengan peningkatan mutu kuliah transportasi:

- Mahasiswa seharusnya diberikan kesempatan untuk menyelesaikan masalah-masalah yang kemungkinan solusinya sangat terbuka. Mereka harus mempertahankan pendapat mereka tentang solusi atau kesimpulan ini dengan menyertakan uraian singkat.
- Mahasiswa seharusnya diberikan kesempatan untuk memecahkan masalah dunia-nyata. Ini bisa diberikan dalam bentuk satu atau lebih proyek / tugas yang dilakukan secara individu atau dalam kelompok. Tugas kelompok lebih dianjurkan karena dengannya para mahasiswa dapat bersama-sama merasakan pengalaman yang sesungguhnya sebagai satu tim.
- Kemampuan untuk memecahkan masalah dengan data yang tidak lengkap atau data yang berlebihan (*redundant*) harus diberikan kepada mahasiswa melalui contoh-contoh dan tugas-tugas di kelas.
- Prinsip-prinsip fundamental yang mendasari ilmu transportasi harus ditonjolkan.
- Agar topik-topik seperti desain perkerasan jalan, metode-metode konstruksi, pemeliharaan fasilitas, dan lain-lainnya mendapatkan perhatian yang sama besarnya, akan lebih baik apabila topik-topik ini diajarkan dalam mata kuliah lain dan bukan dalam mata kuliah inti.

Berdasarkan hasil-hasil tersebut di atas, saya telah membatasi isi buku ini agar terfokus pada kejelasan eksposisi, pembahasan topik, kandungan teknis, dan unsur-unsur pedagogis (pengajaran). Keenam belas bab dalam tulisan ini sangat sesuai dengan apa yang dimuat pada tabel P-2.

Beberapa karakteristik khusus dari buku teks ini adalah sebagai berikut:

- Materi buku dibangun berdasarkan ide-ide, konsep, dan observasi yang tidak asing lagi bagi mahasiswa, seperti jalan, jalan raya, bis, pengendara sepeda, pejalan kaki, dan sebagainya.

Tabel P-1 Topik-topik Transportasi

Topik	Praktisi Transportasi (N = 50)		Tenaga Pengajar (N = 51)	
	Nilai	Ranking	Nilai	Ranking
Desain Geometris Jalan Raya	4,80	1	4,62	2
Karakteristik Pengoperasian Kendaraan	4,72	2	4,34	5
Studi Kapasitas Jalan Raya	4,69	3	4,28	6
Desain Persimpangan Jalan Raya	4,58	4	4,00	8
Perencanaan Transportasi	4,44	5	3,96	9
Peralatan Kendali Lalu-lintas	4,32	6	4,38	4
Ekonomi Transportasi	4,20	7	—	—
Interaksi Tata-guna Lahan / Transportasi	4,18	8	—	—
Teknik-teknik Evaluasi	4,13	9	3,90	10
Manajemen Sistem Transportasi	4,06	10	—	—
Deskripsi Sistem Transportasi	4,04	11	4,72	1
Karakteristik Arus Lalu-Lintas	4,04	12	4,54	3
Keamanan Lalu-Lintas	4,00	13	4,22	7
Prosedur-prosedur Kontrak	3,92	14	2,30	—
Spesifikasi	3,80	15	—	—
Karakteristik Operasional dari Moda	3,80	16	—	—
Angkutan Massal	3,79	17	—	—
Perencanaan Airport	3,63	18	—	—
Transport Pemberdayaan Manusia	3,50	19	—	—
Sejarah Transportasi	3,41	20	—	—

Sumber : Khisty, 1986.

- Pengaturan buku beserta bab demi bab demi babnya telah direncanakan dengan cermat untuk mempermudah perpindahan dari satu tema ke tema lainnya.
- Meskipun pemecahan soal dengan angka-angka selalu diutamakan sedapat mungkin, perlunya pembuktian atas hasil-hasil perhitungan ini, berikut penjelasan dan pembahasannya, juga diberikan bilamana perlu. Soal-soal latihan pada bagian akhir tiap bab merupakan pertanyaan-pertanyaan dengan banyak kemungkinan jawaban sehingga membutuhkan kreativitas dan pemikiran yang kritis.
- Petunjuk-petunjuk, kode-kode, laporan, dan praktek terbaru juga diikutsertakan dalam buku ini, seperti *Petunjuk Kapasitas Jalan Raya*, 1985, dan *Kebijakan tentang Desain Geometris Jalan dan Jalan Raya*, 1984.

Buku ini dapat dianggap sebagai sebuah buku yang multimoda-sebagian karena buku ini terutama membahas tentang jalan raya dan orang-orang yang menggunakannya—kendaraan bermotor dan tanpa motor, prasarana swasta dan publik. Bab khusus tentang transportasi umum akan sedikit menyinggung tentang moda transportasi rel. Tidak ada upaya khusus yang dilakukan untuk menguraikan teknik transportasi dalam hubungannya dengan transportasi udara, transportasi air, atau jalur pipa. Hasil-hasil survey yang telah diuraikan sebelumnya mempertegas mengapa topik-topik ini yang dipilih.

Tiga bab pendahuluan terdepan merupakan kunci dari bab-bab lainnya dalam buku ini, ketiga bab ini sangat penting dan fundamental. Bab 4 hingga 9 berhubungan dengan teknik lalu-lintas. Bab 10 membahas angkutan umum, dan Bab 11 hingga 14 membahas perencanaan. Dua bab terakhir berhubungan dengan evaluasi dan masalah keamanan. Uraian singkat dari tiap-tiap bab adalah sebagai berikut:

Bab 1, “Transportasi sebagai sebuah Sistem” memperkenalkan rekayasa transportasi, perencanaan, dan manajemen kepada para mahasiswa. Dalam bab ini para mahasiswa akan

memperoleh gambaran umum tentang karakteristik, tingkatan/hirarki, dan klasifikasi dari sistem transportasi.

Bab 2, “Ekonomi Transportasi” membahas ide-ide paling mendasar dalam ekonomi yang bermanfaat bagi para insinyur transportasi. Sebagian besar dari prinsip-prinsip yang diuraikan di sini dapat diterapkan untuk masalah-masalah yang dibahas pada bab-bab selanjutnya.

Bab 3, “Sistem Tata-Guna Lahan/Transportasi,” menggambarkan kesalingtergantungan antara tata-guna lahan dan transportasi. Bab ini merupakan bagian yang sangat penting untuk dipahami oleh mahasiswa, dan merupakan bab yang memperkenalkan begitu banyak konsep dasar tentang hubungan antara tata-guna lahan dan transportasi.

Bab 4, “Karakteristik Kendaraan dan Manusia,” menguraikan bagaimana manusia—sebagai operator kendaraan, penumpang, dan pejalan kaki—berinteraksi dengan kendaraan dan fasilitas transportasi yang mereka gunakan. Bab ini menggabungkan beberapa topik yang berhubungan dengan unsur manusia, kendaraan, dan lingkungan.

Bab 5, “Karakteristik Arus Lalu-Lintas” mengupas tentang arus kendaraan yang bergerak terus-menerus secara individual atau secara berkelompok di jalan atau jalur tertentu, yang sangat terkait dengan perilaku manusia dan dinamika kendaraan. Persamaan-persamaan dasar untuk menghitung arus kendaraan diturunkan dengan memasukkan faktor-faktor keamanan, kecepatan, dan kapasitas.

Bab 6, “Desain Geometris Jalan Raya,” membahas penentuan proporsi dari unsur-unsur fisik jalan raya, seperti kelengkungan vertikal dan horisontal, lebar lajur, dan persimpangan. Buku berjudul *Kebijakan tentang Desain Geometris Jalan dan Jalan Raya*, diterbitkan pada tahun 1984 oleh *American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO)*, merupakan sumber referensi utamanya.

Bab 7, “Kapasitas Jalan Raya” membahas evaluasi kuantitatif dari suatu bagian jalan raya, seperti jalan tol (*free-way*), jalan multi-lajur, atau jalan dua-lajur yang membawa arus lalu-lintas. Prosedur dan metodologi yang dimuat di dalam *Highway Capacity Manual*, 1985, diterbitkan oleh Badan Riset Transportasi, digunakan sebagai referensi dalam bab ini.

Bab 8, “Desain dan Pengendalian Persimpangan”, membahas persimpangan sebidang dan rambu-rambu lalu-lintas yang dibutuhkan untuk mengatur, mengarahkan, memberikan peringatan, dan membagi jalur lalu-lintas. Desain rambu-rambu lalu lintas merupakan salah satu bagian yang penting dalam bab ini.

Bab 9, “Kapasitas dan Tingkat-Pelayanan di Persimpangan Sebidang”, menyuguhkan analisis persimpangan berdasarkan prosedur yang dimuat dalam *Highway Capacity Manual*, 1985. Analisis dilakukan dalam dua tingkat: tingkat perencanaan dan tingkat operasional. Di sini diuraikan pula persimpangan tanpa rambu lalu-lintas.

Bab 10, “Transportasi Penumpang Publik”, menguraikan berbagai moda transportasi penumpang yang terbuka bagi publik, seperti bis, kereta api dalam kota dan kereta api cepat. Diawali dengan sejarah perkembangan transportasi perkotaan, bab ini juga membahas klasifikasi sistem transportasi massal dan kemampuannya untuk mengangkut penumpang. Dijelaskan pula desain-desain operasional dari sistem kereta api dalam kota dan bis kota.

Bab 11, “Perencanaan Transportasi Perkotaan” menghadirkan empat-tahap urutan proses tradisional dalam perencanaan perjalanan. Bab ini diawali dengan penjelasan tentang pengorganisasian dan filosofi umum dari perencanaan jangka-pendek dan jangka-panjang, (TSM) yang saat ini banyak diikuti baik di negara berkembang maupun di negara maju.

Bab 12, “Manajemen Lalu-Lintas Lokal” membahas berbagai masalah sekaligus pemecahan yang berhubungan dengan lingkungan yang telah ada berikut kemungkinan-kemungkinan perluasan dan perbaikannya. Perencanaan dan desain fasilitas-fasilitas pejalan kaki dan pengendara sepeda, parkir dan terminal diuraikan secara rinci.

Bab 13, “Masalah Energi yang Berkaitan dengan Transportasi,” menyajikan pengenalan mengenai teknik-teknik untuk perencanaan energi dan konservasi energi.

Bab 14, “Perencanaan Manajemen Sistem Transportasi (MST),” memperkenalkan kepada pembaca tentang komponen jangka-pendek dari sistem transportasi. MST membahas berbagai strategi peningkatan potensial dengan berfokus pada operasi non-fasilitas dan biaya rendah.

Bab 15, “Evaluasi Peningkatan Transportasi,” menjelaskan teknik-teknik dasar untuk melakukan analisis biaya-manfaat (*cost-benefit analysis*) terhadap alternatif usulan, termasuk penghitungan biaya-efektif dan multi-kriteria.

Bab 16, “Keamanan Transportasi” menjelaskan Program Peningkatan Keamanan Jalan Raya”. Bab ini diawali dengan pembahasan tentang karakteristik berbagai kecelakaan dari sisi jenis, intensitas, kondisi penyebab, dan kondisi lingkungan, yang menyebabkannya. Didiskusikan pula berbagai metoda untuk mengidentifikasi lokasi-lokasi rawan bencana.

Buku ini didesain untuk digunakan dalam kuliah-kuliah teknik, perencanaan kota, dan manajemen. Meskipun penekanan dalam kuliah-kuliah ini bisa berbeda-beda, pilihan kombinasi dari bab-bab tertentu dapat dilakukan untuk tiap perkuliahan agar sesuai dengan tujuan masing-masing kuliah. Tabel P-2 dapat digunakan sebagai petunjuk untuk menyusun garis-garis besar perkuliahan. Nomor 1 dan 2 ditujukan untuk mahasiswa teknik. Perkuliahan nomor 1 merupakan mata kuliah wajib sedangkan nomor 2 merupakan mata kuliah pilihan. Kuliah Perencanaan dan kuliah Manajemen dapat mengambil tiga bab pengantar pertama diikuti dengan bab-bab yang berhubungan dengan perencanaan, yaitu bab 10 sampai 16. Bab-bab yang berkenaan dengan teknik lalu-lintas dapat dihilangkan atau diajarkan namun kulit-kulitnya saja.

Buku pendamping, *Laboratory and Field Manual for Transportation Engineering* (Prentice Hall, 1991) akan melengkapi buku ini, terutama bagi mahasiswa yang mengambil mata kuliah laboratorium. Saya dan rekan saya Dr. Michael Kyte adalah pengarang buku tersebut.

Walaupun beberapa bab pertama buku ini ditulis dan ditulis ulang di Pullman, Washington, upaya yang serius untuk menyelesaikan beberapa bab penting dilakukan di Universitas Washington, Seattle, di mana saya menghabiskan tahun akademik 1984-1985 di sini. Ucapan terimakasih saya sampaikan kepada rekan-rekan di Universitas Washington—Jerry Schneider, Nancy Nihan, Scott Rutherford, Stephen Ritchie, Joe Mahoney, Jimmy Hinze, dan Sandor Veress—yang telah banyak membantu. Meskipun Bob Davis dari Prentice Hall di Seattle berperan besar dalam mendorong saya untuk menyerahkan naskah buku ini ke Prentice Hall, adalah Doug Humphrey, Editor Teknik Senior, yang telah membantu saya selama proses penerbitan buku ini. Saya sangat senang dapat bekerja dengan beliau. Juga untuk Marianne Peters, editor produksi, saya menyampaikan ucapan terima kasih atas kesabaran dan bimbingannya.

Selama penulisan buku ini, saya merasa banyak berhutang budi kepada para pengajar, kolega dan mahasiswa di India, Jerman, dan Amerika Serikat. Mereka telah banyak memberikan pengaruh positif kepada saya dalam memandang banyak aspek teknik transportasi dan perencanaan. Saya sampaikan penghargaan kepada rekan-rekan yang ikut memeriksa naskah dan memberikan banyak saran yang tak ternilai: J. D. Gupta, Michael Kyte, B. Kent Lall, Martin Lipinski, dan Thomas Mulinazzi. Terima kasih khusus saya sampaikan kepada Dr. Surinder Bhagat, Dekan Fakultas Teknik Sipil dan Lingkungan, yang telah banyak memberikan dukungan.

Tabel P-2

Topik	1	2	3	4
1. Transportasi sebagai sebuah Sistem	x		x	x
2. Ekonomi Transportasi	x		x	x
3. Sistem Tata-Guna Lahan/Transportasi	p	x	x	x
4. Karakteristik Kendaraan dan Manusia	x			p
5. Karakteristik Arus Lalu-lintas	x			p
6. Desain Geometris Jalan Raya	x		p	p
7. Kapasitas Jalan Raya	x		p	p
8. Desain dan Pengendalian Persimpangan	p	x		
9. Kapasitas dan Tingkat Pelayanan di Persimpangan Sebidang	p	x		
10. Transportasi Penumpang Publik	p	x	x	x
11. Perencanaan Transportasi Perkotaan	p	x	x	x
12. Manajemen Lalu-lintas Lokal	p	x	x	x
13. Masalah Energi yang Berkaitan dengan Transportasi		x	x	x
14. Perencanaan Manajemen Sistem Transportasi (MST)	p	x	x	x
15. Evaluasi Peningkatan Transportasi	x		x	x
16. Keamanan Transportasi	p	x		x

1 = Kuliah Teknik 1 (mata kuliah wajib)

2 = Kuliah Teknik 2 (mata kuliah wajib/pilihan)

3 = Kuliah Perencanaan (tingkat master)

4 = Manajemen (tingkat master)

x = seluruh bab; p = sebagian bab

Di antara para mahasiswa, dengan bangga saya secara khusus menyebut nama-nama berikut yang telah banyak memberikan bantuan: A. Alzahrani, M. Y. Rahi, Ping Yi, dan Morgan Wong. Rasa terima kasih khusus saya sampaikan kepada Morgan yang telah menyusun dan mengedit seluruh bab serta menghabiskan ratusan jam untuk pengetikan naskah awal buku ini. Morgan telah membuktikan dirinya sebagai seorang yang berdedikasi dan bertanggung jawab selama periode penulisan yang panjang ini. Yang terakhir, saya berterima kasih kepada istri tercinta, Lena, atas dukungannya. Kepada semua pihak yang telah membantu proses pembuatan buku ini, saya menyampaikan penghargaan saya yang terdalam. Dan bagaikan para pembuat permadani yang memilih benang dan warna mereka dari berbagai sumber, sayalah seorang yang bertanggung jawab atas desain dan produk akhir buku ini.

Akhirnya, saya akan sangat menghargai seluruh saran, kritik dan saran yang dapat meningkatkan mutu buku ini. Sebuah buku petunjuk pemecahan masalah saat ini telah diterbitkan oleh Prentice Hall.

DAFTAR PUSTAKA

- KHISTY, C.J. (1986). Undergraduate Transportation Engineering Education, dalam *Transportation Research Board # 1101*, Transportation Research Board, National Research Council, Washington, DC hal. 1-3
- WRIGHT, P.H. (1983), *Transportation Engineering Education: An Author's View*, tulisan yang dipersiapkan untuk Konferensi Tahunan ASCE, Houston, Texas.
- KHISTY, C.J. (1987), Urban Planning Education for Civil Engineers, *ASCE Journal of Urban Planning and Development*, Nov., hal 54-60.
- C. JOTIN KHISTY

Transportasi sebagai sebuah Sistem

1. PENDAHULUAN

Pentingnya sarana transportasi dalam perkembangan dunia bersifat multidimensi. Sebagai contoh, salah satu fungsi dasar transportasi adalah menghubungkan tempat kediaman dengan tempat bekerja atau para pembuat barang dengan para pelanggannya. Dari sudut pandang yang lebih luas, fasilitas transportasi memberikan aneka pilihan untuk menuju ke tempat kerja, pasar, dan sarana rekreasi, serta menyediakan akses ke sarana-sarana kesehatan, pendidikan, dan sarana lainnya.

Dunia transportasi dapat diibaratkan seperti sebuah rumah besar dengan beberapa tingkat, banyak kamar, dan sejumlah jalur penghubung. Kami akan mengajak pembaca untuk melakukan tur singkat ke dalam rumah ini untuk sekadar memberikan gambaran tentang karakteristik-karakteristik yang dimilikinya. Salah satu prasyarat agar Anda dapat ikut dengan kami dalam tur ini adalah Anda harus memiliki pikiran yang terbuka. Hampir setiap orang pasti pernah mempunyai pengalaman pribadi sebagai *pengguna* sistem transportasi, baik itu sebagai pengemudi mobil, penumpang bis, pengguna lift, penumpang pesawat terbang, atau semata-mata sebagai seorang pengguna trotoar. Sebagian kecil pembaca mungkin pernah bekerja di perusahaan penyedia jasa transportasi, seperti misalnya (di Amerika Serikat), seorang mahasiswa yang bekerja paruh-waktu menjadi pengemudi bis di pagi hari untuk sebuah perusahaan pengangkutan agar ia bisa memenuhi kebutuhan hidupnya. Secara alamiah, hampir setiap orang cenderung akan memiliki sudut pandang sendiri. Tidak ada dua orang yang mempunyai kesimpulan yang sama tentang suatu masalah transportasi, betapapun objektif dan rasionalnya kedua orang tersebut. Cobalah semaksimal mungkin untuk memahami dunia transportasi dan permasalahannya yang begitu banyak ini dengan pikiran yang terbuka, bebas dari asumsi dan prasangka yang negatif. Seperti halnya makanan, rumah, pakaian, dan keamanan, transportasi juga merupakan bagian tak terpisahkan dari kehidupan manusia. Pergerakan dalam arti yang luas menawarkan kegembiraan dan kenikmatan di satu sisi, tetapi juga rasa sakit, penderitaan, dan frustrasi di sisi yang lain. Faktor-faktor ini akan memainkan peran yang lebih penting lagi di masa mendatang.

1.1 Keterlibatan Negara dan Individu

Setiap orang terlibat transportasi dalam beraneka-ragam bentuk dan begitu banyak cara. Pada akhirnya, semua orang saling berinteraksi dalam dimensi ruang dan waktu, dan interaksi ini dengan sendirinya akan menciptakan suatu keterlibatan. Untuk memahami teori transportasi, seseorang harus mengkaji tuntas hubungan antara teori ini dengan institusi-institusi sosial, ekonomi, dan politik, dan inilah yang akan kami lakukan di dalam buku ini (Wolfe, 1963).

Peranan transportasi dalam kehidupan sehari-hari rakyat Amerika dapat diketahui cukup dengan membaca artikel berikut ini (U.S. D.O.T., 1994):

Sistem transportasi melibatkan sekitar 200 juta mobil, minibus, dan truk yang beroperasi di atas sekitar sekitar 4 juta mil jalan (*street*) dan jalan raya (*highway*); lebih dari 100.000 kendaraan umum beroperasi di atas jalan-jalan tersebut, demikian pula lebih dari 7.000 mil rel kereta api bawah tanah (*subway*), jalur kendaraan, dan rel kereta api dalam kota; 275.000 pesawat terbang keluar-masuk 17.000 bandar udara; 18.000 lokomotif dan 1,2 juta gerbong beroperasi di atas 113.000 mil jalan kereta api; 20 juta kapal pesiar, 31.000 barkas dan lebih dari 8.000 kapal besar, kapal penarik, dan jenis-jenis angkutan air komersial lainnya beroperasi di atas 26.000 mil jalur perairan; dan 1,5 juta mil jalur pipa antar-kota.

Perjalanan menghabiskan waktu kurang lebih satu jam per orang dalam sehari, dan menghabiskan biaya kurang lebih seperenam dari pengeluaran rumah tangga. Orang-orang di Amerika Serikat melakukan seribu perjalanan per tahun per orang, menempuh jarak sekitar 15.000 mil tiap tahunnya. Diperkirakan bahwa rumah tangga, dunia usaha, dan pemerintah menghabiskan lebih dari US\$1 triliun untuk perjalanan sejauh 3,8 juta triliun mil dan untuk mengirimkan 3,5 juta ton-mil barang setiap tahunnya. Singkatnya, transportasi menghabiskan 12% dari GDP (*Gross Domestic Product*). *Bureau of Transportation Statistics* (BTS) dari *US Department of Transportation* mengeluarkan laporan tahunan yang mengindikasikan status dari sistem transportasi dan berbagai konsekuensinya, dan informasi ini merupakan hal penting bagi para mahasiswa yang mengambil rekayasa dan perencanaan transportasi. Tabel-tabel dan gambar-gambar yang disarikan dari BTS ini dapat dijumpai dalam Apendiks C.

1.2 Sejarah Perkembangan Transportasi

Prinsip-prinsip teknik transportasi telah mengalami perkembangan selama beberapa abad. Manusia diketahui telah merancang dan menggunakan jalur transportasi sejak tahun 30.000 Sebelum Masehi (SM). Pada awalnya, para pedagang dan para imigranlah yang membuka kebanyakan jalur perhubungan, namun selanjutnya pihak militerlah yang secara umum banyak meningkatkan kondisi jalur-jalur yang dibangun oleh pihak sipil tersebut. Kendaraan militer beroda pertama kali dibuat sekitar tahun 2500 SM, dan sejak saat itu upaya-upaya signifikan telah dilakukan oleh para penguasa dan jajaran-jajaran di bawahnya untuk membangun dan memelihara jalur-jalur perhubungan tersebut dalam bentuk jalan (Lay, 1986).

Sejak saat itu terus terjadi peningkatan dalam pembangunan jalan raya dan jaringan jalan (disebut sebagai komponen stasioner dari sistem transportasi), dalam penyediaan kendaraan untuk membawa manusia dan barang yang akan melalui jaringan ini (merupakan komponen dinamis dari sistem transportasi), dan dalam peningkatan kemampuan pengemudi (*controller*) yang mengendarai kendaraan tersebut. Pada dasarnya, ketiga komponen yang saling berinteraksi inilah yang akan dipelajari di dalam buku ini (Lay, 1986).

Sebelum sepeda dan kendaraan bermotor dikenal dan digunakan, kecepatan kendaraan jarang yang melebihi 10 mil per jam. Umumnya, suatu permukaan perkerasan yang ideal terbuat dari pecahan batu yang dipadatkan; permukaan seperti ini bahkan dapat menahan

roda-roda besi yang ada saat itu. Dewasa ini, sistem jalan raya di A.S. terdiri dari sekitar 4 juta mil jalan kelas satu yang kemudian dibagi-bagi lagi, berdasarkan fungsinya, menjadi serangkaian jaringan jalan yang saling terhubung; ini berarti terdapat 1 mil jalan untuk setiap 1 mil persegi lahan. Dengan daya jangkauan yang seperti ini, dapat diartikan juga bahwa selalu terdapat jalan ke seluruh penjuru Amerika Serikat. Tingkat cakupan ini menyediakan akses jalan ke hampir setiap negara-bagian di A.S. Keseluruhan program pembangunan jalan raya di A.S. telah mencapai 42.000 mil jalan tol (*freeway*), yang merupakan salah satu keberhasilan pekerjaan umum terbesar sepanjang sejarah. Di wilayah-wilayah perkotaan, terobosan besar yang berhasil dilakukan adalah pembangunan simpang susun (*interchange*); fasilitas pejalan kaki dan pengendara sepeda, dan jalur-jalur untuk bis dan kendaraan berpenumpang banyak. Sepanjang tahun 1980-an, kurangnya dana mengakibatkan pembangunan lebih banyak dialokasikan untuk pemeliharaan, perbaikan jalan perkerasan (*pavement*), dan sistem manajemen jalan perkerasan NCPWI, 1986).

Kendaraan (dan benda-benda lain yang fungsinya mirip dengan fungsi kendaraan) telah digunakan sejak manusia belajar berjalan. Orang yang melakukan perjalanan dengan jalan kaki dapat menempuh antara 10 sampai 25 mil per hari. Tercatat bahwa bangsa Inca mampu mengirimkan pesan dengan kecepatan 250 mil per hari dengan menggunakan pelari-pelari cepat yang berlari secara estafet, yang berarti mencapai kecepatan 10 mil/jam. Di lain pihak, kuda dapat mencapai kecepatan hampir 40 mil per hari.

Pada penghujung tahun 1840-an, trem yang ditarik dengan kuda muncul di berbagai kota, beroperasi dengan kecepatan rata-rata 4 mil/jam. Kendaraan bertenaga listrik mulai diperkenalkan pada tahun 1880-an. Menjelang pecahnya Perang Dunia I, trem listrik telah memberikan pengaruh yang besar bagi pertumbuhan dan struktur perkotaan (Gray dan Hoel, 1992).

Transportasi mengalami perubahan total pada tahun 1885 ketika Daimler dan Benz memperkenalkan mesin pembakaran-internal berbahan bakar bensin. Dalam kurun waktu 100 tahun terakhir ini, kendaraan bermotor telah mendorong terjadinya revolusi transportasi di seluruh dunia. Sebelum hadirnya kendaraan bermotor, kecepatan kendaraan rata-rata hanya 10 mil/jam. Kehadiran mobil telah mengubah situasi tersebut, sehingga demi keselamatan dan efisiensi mulailah ditempatkan rambu lalu lintas di persimpangan jalan (Lay, 1986).

Beberapa kemajuan yang paling penting dari sekian banyak kemajuan teknologi transportasi yang patut dicatat sepanjang 200 tahun terakhir antara lain adalah:

- Jalur pipa pertama di Amerika Serikat mulai diperkenalkan pada tahun 1825.
- Rel kereta api pertama dibuka tahun 1825.
- Mesin dengan pembakaran internal ditemukan tahun 1866.
- Mobil pertama kali diperkenalkan pada tahun 1886 (oleh Daimler dan Benz)
- Wright bersaudara menerbangkan 'mesin yang lebih berat daripada udara' tahun 1903.
- Lokomotif listrik bertenaga diesel pertama kali diperkenalkan tahun 1921.
- Lindbergh terbang menyeberangi Samudra Atlantik ke Eropa pada tahun 1927.
- Bis bertenaga diesel pertama kali digunakan pada tahun 1938.
- Jalan raya di Amerika Serikat (*The Pennsylvania Turn-pike*) pertama kali dibuka tahun 1940.
- Sistem jalan raya antar negara-bagian (*Interstate Highway System*) mulai dibangun pada tahun 1950.
- Pesawat jet komersial mulai beroperasi pada tahun 1958.
- Astronot mendarat di bulan pada tahun 1969.

- Penggunaan komputer dan otomatisasi di dalam dunia transportasi tumbuh dramatis sejak 1960 hingga 1970 dan terus berkembang pesat.
- Mikrokomputer telah merevolusi kemampuan kita untuk menjalankan berbagai program sejak tahun 1980-an, dan kemampuan tersebut telah membantu kita menguji alternatif-alternatif baru secara lebih efisien dan cepat.

1.3 Sistem dan Transportasi Perkotaan

Pada tahun 1850, ada empat kota di dunia yang berpenduduk lebih dari 1 juta jiwa, dan pada tahun 1950 telah terdapat sekitar seratus kota dengan jumlah penduduk yang sama. Akan tetapi yang membuat kita terkejut adalah bahwa pada tahun 2000, terdapat sekitar 400 kota yang berpenduduk sekitar 1 juta jiwa. Memang, secara alamiah kota kecil akan cenderung berkembang menjadi kota besar, dan kemudian berkembang lagi menjadi megalopolis.

Beberapa arsitek, perencana, dan insinyur telah membuat matriks dan kerangka-kerja dalam upaya mereka untuk merepresentasikan dan memahami gambaran perkotaan. Pada pertengahan 1950-an, C. A. Doxiadis, seorang ahli planologi Yunani, memperkenalkan satu konsep baru dalam dunia ilmu pemukiman penduduk, dan mencoba merepresentasikannya dalam bentuk sebuah grid. Matriks ini—disebut *grid ekistik*—berisi suatu rentang yang terdiri dari daerah-daerah pemukiman penduduk (Gambar 1-1). Absis dari grid tersebut memperlihatkan jumlah populasi penduduk mulai dari satu jiwa hingga suatu ekumenopolis yang dihuni oleh sekitar 30 miliar jiwa. Perlu menjadi catatan bahwa angka-angka pada sumbu horizontal ini secara umum meningkat menurut deret logaritmik dengan kelipatan yang besarnya terletak di antara 6 dan 7, dan peningkatan ini telah diamati lewat observasi yang dilakukan oleh para ilmuwan lain (Bell dan Tyrwhitt, 1972).

Lima elemen yang diperlihatkan pada ordinat (sumbu tegak) adalah alam, manusia, lingkungan sosial, cangkang (*shell*), dan jaringan. Alam merepresentasikan sistem ekologis di mana kota berada. Manusia dan masyarakat akan terus beradaptasi dan berubah, dan pada gilirannya akan mengubah kota menjadi lingkungan yang layak. Lingkungan berbentuk

Skala Komunitas	I	II	III	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
	Orang	Kamar	Rumah	Kompleks perumahan	Lingkungan RT	Lingkungan RW	Kota kecil	Kota	Kota besar	Kota metropolitan	Konurbasi (<i>Conurbation</i>)	Megapolitan	Daerah perkotaan	Benua kota	Ekumenopolitan
Alam															
Manusia															
Masyarakat															
Cangkang															
Jaringan															
Sintesis															
Jumlah Penduduk r (ribu) j (juta)	1	2	4	40	250	1,5r	7r	50r	300r	2j	14j	100j	700j	5.000j	30.000j

Skala Logaritmis Ekistik

Gambar 1-1 Grid Ekistik (Bell dan Tyrwhitt, 1972).

bangunan jadi direpresentasikan oleh cangkang biasanya yang merupakan domain dari para arsitek, planolog, dan insinyur. Jalan raya, rel kereta api, jalur pipa, telepon—termasuk seluruh unsur komunikasi—merupakan elemen-elemen pembentuk jaringan. Guna memenuhi kebutuhan akan komunikasi yang lebih cepat dan lebih murah seiring dengan semakin cepatnya pertumbuhan pemukiman, kita terus berupaya untuk menemukan sarana-sarana baru yang dapat mensubstitusikan perjalanan dengan komunikasi. Jumlah total antara seluruh elemen dan interaksi antar elemen direpresentasikan oleh sintesis (kombinasi). Jadi, dimensi-dimensi dari grid ini mencakup tidak saja kondisi saat ini tetapi juga kondisi masa-lalu dan masa-depan. Keuntungan utama dari melihat “hutan sekaligus beserta pohon-pohonnya” ini adalah kita dapat memahami masalah-masalah universal sekaligus memahami masalah-masalah lokal. Satu masalah lain yang tidak kalah pentingnya adalah kebutuhan untuk memahami makna dari pembentukan kota dan faktor-faktor penentunya (Thomson, 1977). Elemen-elemen apa saja yang membentuk struktur dasar suatu masyarakat? Bagaimana elemen-elemen tersebut saling berhubungan, berinteraksi, dan berfungsi? Teknik-teknik apa sajakah yang dapat digunakan untuk memahami dan memproduksi apa yang akan terjadi di masa yang akan datang? Pertanyaan-pertanyaan ini adalah beberapa dari pertanyaan yang umumnya sering dilontarkan oleh para ahli dan masyarakat. Jawabannya, jika memang benar-benar ada, sangatlah kompleks dan sering kali sangat beragam.

2. RUANG LINGKUP REKAYASA TRANSPORTASI

Keinginan manusia untuk senantiasa bergerak dan kebutuhan mereka akan barang telah menciptakan kebutuhan akan transportasi. Preferensi manusia dalam hal waktu, uang, kenyamanan, dan kemudahan mempengaruhi moda (cara) transportasi apa yang akan dipakai, tentu saja sejauh moda transportasi tersebut tersedia bagi si pengguna.

Institute of Transportation Engineers (1987) mendefinisikan teknik transportasi sebagai “penerapan prinsip-prinsip sains dan teknologi dalam perencanaan, desain fungsional, pengoperasian, dan pengelolaan berbagai fasilitas untuk segala bentuk moda transportasi dengan tujuan untuk menjamin pergerakan manusia dan barang yang aman, cepat, nyaman, mudah, ekonomis, dan ramah terhadap lingkungan. Teknik lalu-lintas, salah satu cabang dari teknik transportasi, dapat dideskripsikan sebagai “bagian dari teknik transportasi yang berhubungan dengan perencanaan, desain geometris, dan pengoperasian lalu-lintas jalan (*road*), jalan umum (*street*), jalan raya (*highway*), jaringan-jaringannya, terminal, lahan yang ditempatinya, dan hubungannya dengan moda transportasi lainnya”.

3. APLIKASI TEKNIK TRANSPORTASI

Teknik transportasi melibatkan berbagai aktivitas penting yang dilakukan oleh para spesialis seperti pembuat kebijakan, manajer, perencana, insinyur, dan evaluator. Gambar 1-2 merupakan ilustrasi dari aktivitas-aktivitas ini dalam hubungan dengan beberapa moda transportasi yang digunakan saat ini. Beberapa moda transportasi pada gambar ini belum selesai diidentifikasi. Jalur penerbangan, konveyor (alat distribusi barang, red), jalan raya, jalur pipa, jalan kereta api, dan jalur perairan merupakan moda yang relatif sudah umum, namun untuk tiga moda lainnya, kami perlu menjelaskan lebih lanjut. Ketika dua moda atau lebih digabung untuk memberikan utilitas dan pelayanan bagi publik, kombinasi ini disebut *sistem multimoda*. *Sistem eksotik* adalah moda yang belum digunakan luas secara komersial tetapi telah diuji dalam suatu proyek

	Penentu kebijakan	Manajemen-administrasi	Perencanaan	Analisis, sintesis, dan desain	Konstruksi	Operasi	Pemeliharaan	Pemeriksaan dan Evaluasi
Jalur penerbangan								
Konveyor								
Jalan raya								
Jalur pipa								
Jalan kereta api								
Jalur perairan								
Multimoda								
Ekstotik								
Quasi-transport								

Gambar 1-2 Transportasi sebagai sebuah Sistem (Khisty, 1983).

percontohan. Kendaraan-kendaraan berbantalan-udara (terangkat dengan kekuatan magnetik) masuk ke dalam kategori ini. Sarana-sarana pengganti transportasi seperti telepon (seperti banyak digunakan dalam konferensi-jarak-jauh) dan proses pengiriman dokumen via faksimili (memanfaatkan kabel dan radio) masuk dalam kategori *quasi-transport* (1977).

4. SIFAT DASAR TEKNIK TRANSPORTASI

Teknik transportasi merupakan bidang studi yang multidisipliner dan sebuah profesi yang relatif masih baru yang telah memperoleh landasan teoretis, perangkat metodologis, dan area yang luas dari keterlibatan publik dan swasta. Profesi dalam bidang transportasi menyandang suatu tanggung jawab sosial yang sangat spesifik. Dengan demikian, pelatihan komprehensif dalam bidang transportasi selalu menjadi target dari seluruh pendidikan transportasi (Khisty, 1981; Hoel, 1982).

Karena teknik transportasi adalah suatu bidang yang multidisipliner, terlihat bahwa konsep-konsep yang diambil dari berbagai bidang—ekonomi, geografi, riset operasi, perencanaan wilayah, sosiologi, psikologi, statistik dan probabilitas, dipadu dengan perangkat analisis yang umum digunakan dalam bidang teknik—semuanya akan digunakan dalam pendidikan baik bagi para insinyur maupun perencana transportasi.

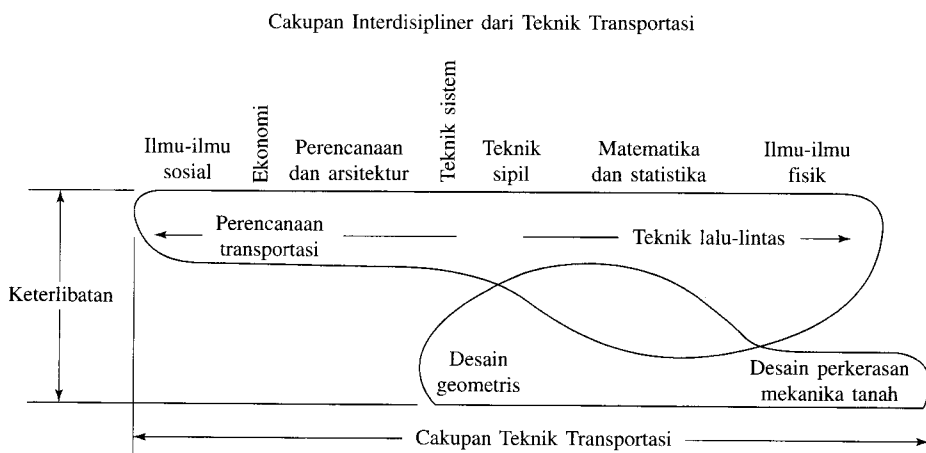
Gambar 1-3 memperlihatkan, secara umum, cakupan interdisipliner dan seberapa jauh keterlibatan teknik transportasi di dalamnya. Kebanyakan pendidikan spesialisasi teknik transportasi diambil pada tingkat master, sedangkan pada tingkat sarjana yang diajarkan adalah gambaran umum mengenai elemen-elemen dalam teknik transportasi (Wegman dan Beimborn, 1973). Bagian kiri atas gambar ini mewakili sisi 'lunak' teknik transportasi, sedangkan bagian kanan bawah, mewakili sisi 'keras' teknik transportasi, seperti desain jalan, teknik jembatan dan pengairan. Meskipun demikian, tidak ada garis batas yang tegas di antara kedua sisi tersebut (Khisty, 1985, 1986, 1987).

5. PENDEKATAN SISTEM

Pendekatan sistem (*systems approach*) adalah suatu cara yang sistemik dan menyeluruh untuk memecahkan masalah yang melibatkan suatu sistem. Ini adalah satu filosofi pemecahan masalah yang khusus digunakan untuk memecahkan permasalahan yang kompleks (Khisty dan Mohammadi, 2001).

Sistem adalah suatu perangkat yang terdiri dari bagian-bagian yang saling berhubungan, disebut *komponen*, yang menjalankan sejumlah fungsi dalam rangka mencapai suatu tujuan. *Analisis sistem* adalah penerapan metoda ilmiah guna memecahkan masalah-masalah yang rumit. *Tujuan (goal)* adalah hasil akhir yang dikehendaki. Pernyataan-pernyataan operasional dari tujuan disebut *objektif*; *objektif* haruslah terukur dan dapat diraih. Umpan balik dan pengendalian sangat diperlukan agar performa suatu sistem bisa efektif. Penyusunan objektif sangat mungkin membutuhkan proses yang berulang-ulang. Setiap objektif umumnya memiliki *ukuran-ukuran efektivitasnya (measure of effectiveness/MOE)* sendiri-sendiri. Suatu MOE merupakan suatu ukuran yang menunjukkan hingga sejauh mana setiap tindakan yang diambil dapat memenuhi objektifnya. Ukuran-ukuran yang berhubungan dengan hilangnya keuntungan atau lepasnya peluang untuk setiap alternatif disebut *ukuran biaya (measure of costs/MOC)*. MOC merupakan konsekuensi dari keputusan. Suatu kriteria menghubungkan MOE dengan MOC dengan cara menetapkan suatu aturan keputusan yang kemudian digunakan untuk memilih dari beberapa tindakan alternatif yang biaya dan efektivitasnya telah diketahui. Salah satu tipe kriteria khusus, suatu *standar*, adalah objektif yang pasti: tingkat terendah (atau tertinggi) performa yang dapat diterima. Dengan kata lain, standar merepresentasikan batas dari suatu performa di mana jika ini tidak dipenuhi performa tidak akan diterima (Cornell, 1980).

Dalam komunitas, kita sering kali menjumpai konsep-konsep rumit yang membentuk keinginan dasar dan menggerakkan perilaku kita. Keinginan ini dapat diistilahkan dengan *nilai (value)*. Nilai adalah dasar yang membentuk persepsi dan perilaku manusia. Karena nilai digunakan bersama oleh sekelompok orang dalam satu ikatan yang sama, maka wajar apabila kita berbicara mengenai *nilai sosial (societal value)* atau *nilai budaya (cultural value)*. Nilai-nilai mendasar yang dianut oleh suatu kelompok masyarakat mencakup keinginan untuk bertahan hidup, kebutuhan untuk memiliki, kebutuhan akan ketentraman, dan kebutuhan akan rasa aman.



Gambar 1-3 Garis besar konseptual dari Pelatihan Interdisipliner untuk Mahasiswa Teknik (Khisty, 1981; Wegman dan Beimbom, 1973).

Kebijakan (policy) merupakan prinsip pengarah atau langkah-langkah yang digunakan untuk mencapai objektif. Tindakan mengevaluasi status aktual dari suatu sistem dan menentukan arah perubahannya disebut sebagai *penentuan kebijakan*.

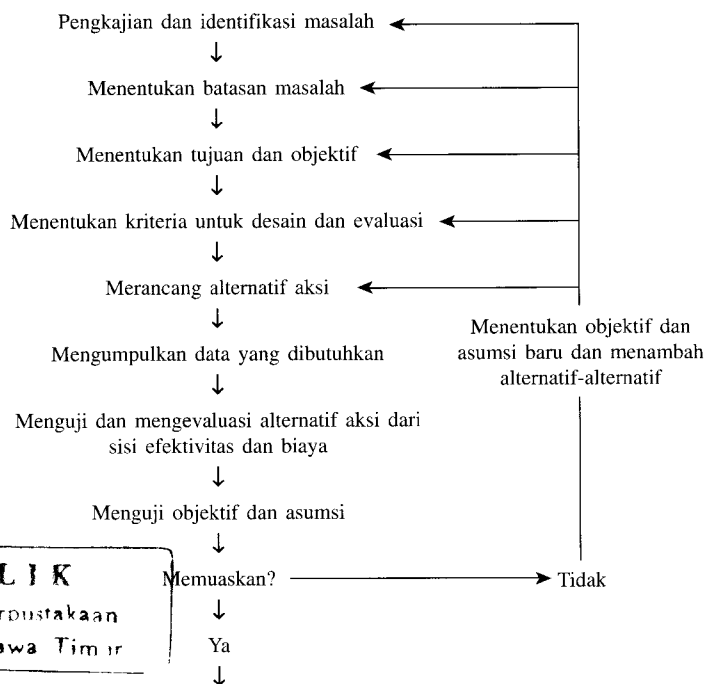
Tahap-tahap dalam Analisis Sistem

1. Mengidentifikasi masalah-masalah dan nilai-nilai komunitas.
2. Menentukan tujuan.
3. Mendefinisikan objektif.
4. Menentukan kriteria.
5. Merancang alternatif aksi untuk mencapai tahap 2 dan 3.
6. Mengevaluasi alternatif aksi, ditinjau dari sisi efektivitas dan biaya.
7. Menguji objektif dan seluruh asumsi.
8. Mengkaji alternatif-alternatif baru atau melakukan modifikasi atas tahap 5.
9. Menentukan objektif baru atau melakukan modifikasi atas tahap 3.
10. Mengulang seluruh tahap hingga solusi yang memuaskan tercapai, dengan tetap mempertahankan kriteria, standar, dan nilai.

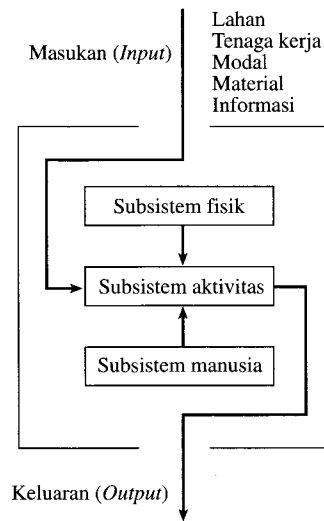
Proses analisis sistem yang disederhanakan disajikan pada Gambar 1-4.

6. PENENTUAN KEBIJAKAN TRANSPORTASI

Para perencana dan insinyur transportasi menyadari kenyataan bahwa sistem transportasi berpengaruh besar dalam menentukan jalannya pembangunan regional. Transportasi melibatkan



Gambar 1-4 Proses Analisis Sistem.



Gambar 1-5 Model Sistem Transportasi: Proses Transportasi (NHI, 1980).

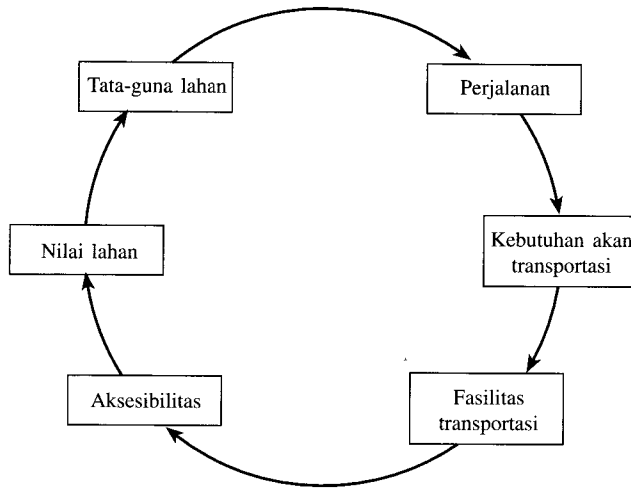
begitu banyak variabel kebijakan. Perencanaan dan pembangunan fasilitas transportasi umumnya meningkatkan standar kehidupan dan mengangakat nilai-nilai komunitas masyarakat.

Insinyur dan perencana juga menyadari bahwa kebanyakan masalah transportasi dapat dicirikan dari besarnya ukuran, cakupan, kompleksitas, keragaman, biaya, dan ketidakpastian yang dimilikinya. Sebuah contoh mengenai model sistem transportasi diperlihatkan pada Gambar 1-5. Bagan ini terdiri dari masukan (*input*) seperti lahan, tenaga kerja, dan modal, yang dimasukkan ke dalam tiga subsistem: (1) subsistem fisik, (2) subsistem aktivitas, dan (3) subsistem manusia. *Subsistem fisik* terdiri dari kendaraan, jalan, rel, terminal, dan objek-objek alami atau buatan manusia lainnya. *Subsistem aktivitas* antara lain menaiki, mengendarai, pengendalian lalu-lintas, dan sebagainya. Aktivitas-aktivitas ini berhubungan dengan *subsistem manusia*, yaitu individu atau kelompok yang terlibat di dalam subsistem aktivitas dan subsistem fisik. Keluaran (*output*) dari sistem ini meliputi pergerakan manusia dan barang, dan peningkatan atau penurunan lingkungan fisik.

7. PERGERAKAN DAN TRANSPORTASI

Suatu kota dapat dipandang sebagai suatu tempat di mana terjadi aktivitas-aktivitas atau sebagai suatu pola tata-guna lahan. Lokasi di mana aktivitas dilakukan akan mempengaruhi manusia, dan aktivitas manusia akan mempengaruhi lokasi tempat aktivitas berlangsung. Interaksi antar aktivitas terungkap dalam wujud pergerakan manusia, barang, dan informasi.

Alasan yang menyebabkan manusia dan barang bergerak dari satu tempat ke tempat lainnya dapat dijelaskan oleh tiga kondisi berikut: (1) *Komplementaritas*, daya tarik relatif antara dua atau lebih tempat tujuan; (2) keinginan untuk mengatasi kendala jarak, diistilahkan sebagai *transferabilitas*, diukur dari waktu dan uang yang dibutuhkan, serta teknologi terbaik apa yang tersedia untuk mencapainya; dan (3) persaingan antar beberapa lokasi untuk memenuhi permintaan dan penawaran. Bagaimana orang dan barang bergerak dari tempat asal ke tempat tujuan sebenarnya merupakan suatu pilihan (seseorang bisa saja memilih menggunakan bis ke pusat kota ketimbang menggunakan mobil pribadi). Keputusan ini dibuat dengan memper-timbangkan beberapa faktor, seperti waktu, jarak, efisiensi, biaya, keamanan, dan kenyamanan.



Gambar 1-6 Siklus Tata-Guna Lahan/Transportasi.

Ahli geografi mengistilahkan *perjalanan* (*trip*) sebagai suatu peristiwa, sedangkan *tindakan berjalan* (*travel*) sebagai suatu proses (Abler *et al.*, 1971).

Hubungan yang sederhana antara penggunaan lahan dan transportasi diperlihatkan dalam Gambar 1-6. Tata-guna lahan merupakan salah satu dari penentu utama pergerakan dan aktivitas. Aktivitas ini dikenal dengan istilah *bangkitan perjalanan* (*trip generation*), yang menentukan fasilitas-fasilitas transportasi apa saja—seperti jalan, bus, dan sebagainya—yang akan dibutuhkan untuk melakukan pergerakan. Ketika fasilitas tambahan di dalam sistem telah tersedia, dengan sendirinya tingkat aksesibilitas akan meningkat.

Perubahan aksesibilitas akan menentukan perubahan, jika ada, nilai lahan, dan perubahan ini akan mempengaruhi penggunaan lahan tersebut. Jika perubahan seperti ini benar-benar terjadi (misalnya perubahan lingkungan tempat tinggal menjadi daerah komersial), maka tingkat bangkitan perjalanan (misalnya jumlah perjalanan per are lahan) akan berubah dan akan menghasilkan perubahan pada seluruh siklus. Perlu dicatat bahwa siklus ini merupakan penyederhanaan dari kenyataan yang sebenarnya, dan catat juga bahwa kekuatan pasar dari lahan juga tidak diperlihatkan pada gambar. Kendatipun demikian, siklus ini memberikan ilustrasi tentang hubungan yang fundamental antara transportasi dan tata-guna lahan.

8. SEKILAS TENTANG KARAKTERISTIK-KARAKTERISTIK SISTEM TRANSPORTASI

Bentuk fisik dari kebanyakan sistem transportasi tersusun atas empat elemen dasar:

1. *Sarana perhubungan* (*link*): jalan raya atau jalur yang menghubungkan dua titik atau lebih. Pipa, jalur ban berjalan, jalur laut, dan jalur penerbangan juga dapat dikategorikan sebagai sarana perhubungan.
2. *Kendaraan*: alat yang memindahkan manusia dan barang dari satu titik ke titik lainnya di sepanjang sarana perhubungan. Mobil, bis, kapal, pesawat terbang, ban berjalan, dan kabel adalah contoh-contohnya.
3. *Terminal*: Titik-titik di mana perjalanan orang dan barang dimulai atau berakhir. Contoh: garasi mobil, lapangan parkir, gudang bongkar-muat, terminal bis, dan bandar udara.

4. *Manajemen dan tenaga kerja*: orang-orang yang membuat, mengoperasikan, mengatur, dan memelihara sarana perhubungan, kendaraan, dan terminal.

Keempat elemen di atas berinteraksi dengan manusia, sebagai pengguna maupun non-pengguna sistem, dan berinteraksi pula dengan lingkungan. Perilaku subsistem fisik, subsistem manusia, dan subsistem lingkungan sangatlah rumit karena melibatkan interaksi manusia sebagai pengendara dan non-pengendara, yang menggunakan berbagai jenis kendaraan dengan karakter dan kinerja berbeda-beda dan dengan karakteristik fisik yang juga berbeda dalam kondisi lingkungan yang juga sangat beragam.

Para peneliti telah mengidentifikasi sembilan kategori perilaku manusia yang dipengaruhi oleh transportasi:

1. Kemampuan berpindah tempat (penumpang, pejalan kaki)
2. Aktivitas (contoh: pengendalian kendaraan, pemeliharaan, kehidupan sosial)
3. Perasaan (contoh: kenyamanan, kemudahan, kesenangan, stres, suka, tidak suka)
4. Pengaturan (contoh: pemilihan sarana, pemilihan rute, pembelian kendaraan)
5. Kesehatan dan keamanan (contoh: kecelakaan, ketidakmampuan, kelelahan)
6. Interaksi sosial (contoh: keleluasaan pribadi, kepemilikan lahan, konflik, peniruan)
7. Motivasi (konsekuensi positif atau negatif, menggerakkan potensi)
8. Belajar (contoh: pelatihan operator, pendidikan pengemudi, pengadaan barang)
9. Persepsi (contoh: kesan, pemetaan, batasan perasaan)

Mirip dengan hal di atas, juga terdapat paling tidak 11 faktor lingkungan fisik yang mempunyai dampak langsung terhadap perilaku manusia. Rincian dari kesebelas faktor tersebut adalah sebagai berikut (Khisty, 1983):

1. *Pengorganisasian ruang*: Aspek ini sering kali meliputi bentuk, skala, definisi, permukaan yang bertepi, pengaturan internal atas objek dan lingkungan, dan hubungannya dengan ruang dan tata-letak lainnya. Dan memang, inilah aspek yang dimaksud oleh kebanyakan orang ketika mereka berbicara tentang lingkungan fisik. Tingkat penyebaran, pemusatan, pengelompokan, dan pendekatan fasilitas juga termasuk dalam dimensi ini.

2. *Sirkulasi dan pergerakan*: faktor ini meliputi orang, barang, dan objek-objek yang digunakan untuk pergerakan—mobil, kereta api, jalan raya, dan rel kereta api—dan juga bentuk-bentuk yang mengaturnya, seperti koridor, portal, pintu-putar, dan ruang terbuka.

3. *Komunikasi*: bentuk-bentuk eksplisit maupun implisit dari rambu-rambu, tanda atau simbol komunikasi, perilaku, tanggapan, dan pengertian termasuk ke dalam dimensi ini; intinya, semua ini adalah unsur lingkungan yang memberi informasi dan gagasan kepada pengguna.

4. *Lingkungan sekitar*: dimensi ini biasanya meliputi unsur-unsur seperti mikroiklim, cahaya, suara, dan aroma. Unsur-unsur lingkungan ini sangatlah penting untuk memelihara fungsi-fungsi fisiologis dan psikologis organ tubuh manusia. Sebagai contoh, seorang penumpang di dalam bis menikmati kenyamanan perlindungan dari gangguan cuaca tetapi kenyamanannya bisa menjadi buyar akibat tingkat kebisingan dan getaran bis.

5. *Unsur-unsur visual*: Lingkungan sebagaimana yang ditangkap oleh indra penggunanya masuk ke dalam dimensi ini, seperti warna, bentuk, dan sarana-sarana kasat mata lainnya.

6. *Sumber daya*: Komponen dan fasilitas fisik dari suatu sistem transportasi—jalan, terminal, dan kendaraan—termasuk dalam kategori ini. Ukuran-ukuran dari sumber daya ini dapat meliputi dimensi-dimensi seperti jumlah lajur jalan atau luas area bagi pejalan kaki di dalam terminal.

7. *Unsur-unsur simbolik*: Nilai-nilai sosial, perilaku, dan norma budaya yang di-representasikan atau diekspresikan oleh lingkungan termasuk dalam kategori ini.

8. *Unsur-unsur arsitektural*: Dimensi ini mengacu kepada unsur rasa atau estetika dari lingkungan.

9. *Konsekuensi*: Dimensi ini merupakan karakteristik lingkungan yang memperkuat atau memperlemah perilaku. Ukuran-ukuran dari konsekuensi meliputi biaya, resiko, dan kemacetan.

10. *Perlindungan*: Faktor-faktor keamanan secara umum termasuk dalam kategori ini.

11. *Pengaturan waktu*: Seluruh dimensi yang disebutkan sebelumnya diatur dalam waktu dan beberapa di antaranya mengalami fluktuasi dalam siklus yang bervariasi, seperti harian, mingguan, atau jaman.

Gambar 1-7 mengilustrasikan dampak lingkungan terhadap aspek-aspek perilaku manusia yang relevan dengan transportasi. Selain itu, perbedaan-perbedaan individu di dalam masyarakat yang menggunakan dan menyediakan transportasi juga harus dipertimbangkan. Dimensi-dimensi ini meliputi umur, etnis, pendapatan, kepemilikan mobil, status ekonomi, kesehatan, dan keahlian. Sebagai tambahan, unsur-unsur dasar berikut ini juga dapat dimasukkan ke dalam desain transportasi (Khisty, 1983): keselamatan, keamanan, kemudahan, kesinambungan, kenyamanan, koherensi sistem, dan daya-tarik. Variabel-variabel yang terkandung dalam daftar dan gambar ini bisa jadi membingungkan, namun demikian variabel-variabel ini memang merepresentasikan suatu pendekatan sistem ke arah hubungan timbal balik antara transportasi dan perilaku manusia.

Sistem transportasi dapat dievaluasi berdasarkan tiga atribut dasar berikut:

1. *Penyebaran (ubiquity)*: jumlah aksesibilitas untuk dapat menjangkau sistem, arah jalur di antara titik-titik akses dan keluwesan sistem untuk dapat mengatasi beraneka ragam kondisi lalu-lintas. Jalan raya relatif lebih tersebar di mana-mana dibanding jalan kereta api, tetapi dewasa ini menjadi berkurang pertumbuhannya akibat investasi yang mahal dan ketidakfleksibelannya. Kendatipun demikian, di dalam moda jalan raya (*highway*), jalan tol lebih kecil penyebarannya dibandingkan dengan jalan raya dan jalan.

Aspek lingkungan \ Perilaku manusia	Aktivitas	Daya Penggerak	Interaksi sosial	Perasaan	Persepsi	Motivasi	Kesehatan dan keamanan	Belajar	Pengaturan
Pengorganisasian ruang		x	x					x	
Sirkulasi dan pergerakan	x	x	x				x	x	
Komunikasi	x	x	x					x	
Lingkungan Sekitar	x			x		x	x		x
Unsur-unsur visual					x				x
Sumber daya	x			x			x	x	x
Unsur-unsur simbolik	x	x			x			x	x
Unsur-unsur arsitektural	x	x	x		x		x	x	x
Konsekuensi		x				x		x	x
Perlindungan							x	x	
Pengaturan waktu		x	x						

Gambar 1-7 Hubungan antara Aspek-aspek Transportasi dan Akibatnya terhadap Manusia (Khisty, 1983, hal. 43).

2. *Mobilitas*: kuantitas perjalanan yang dapat ditangani. Kapasitas suatu sistem dalam mengatasi lalu-lintas dan kecepatan adalah dua variabel yang berhubungan dengan mobilitas. Di sini sekali lagi, jalan tol memiliki mobilitas yang lebih tinggi dibandingkan jalan raya. Transportasi air mungkin saja memiliki kecepatan yang relatif rendah, tapi kapasitas per kendaraannya cukup tinggi. Di pihak lain, sistem perkeretaapian mungkin saja memiliki kecepatan yang tinggi serta kapasitas yang besar.

3. *Efisiensi*: hubungan antara biaya transportasi dan produktivitas dari suatu sistem. Biaya langsung suatu sistem terdiri dari modal dan biaya operasional, sedangkan biaya tak langsung terdiri dari biaya yang muncul akibat dampak yang merugikan dan biaya tak terduga, seperti biaya keselamatan. Setiap moda transportasi mungkin saja efisien dalam beberapa aspek namun tidak efisien dalam aspek lainnya.

Tabel 1-1 merangkum karakteristik-karakteristik dasar dari berbagai macam moda transportasi utama.

9. SISTEM, TINGKATAN, DAN KLASIFIKASI TRANSPORTASI

Pengklasifikasian moda-moda transportasi ke dalam sistem-sistem operasional atau kelas-kelas fungsionalnya akan sangat berguna bagi pemahaman kompleksitas sistem transportasi keseluruhan. Sebagai contoh, munculnya klasifikasi berdasarkan fungsinya sebagai metode yang dipergunakan dalam mengelompokkan jalan raya telah membantu para insinyur untuk berkomunikasi dengan para ekonom, ahli sosial, perencana, dan pakar administrasi dengan lebih efektif.

Ada sederetan gerakan berjalan yang dapat dikenali pada kebanyakan perjalanan. Misalnya pada sebuah sistem jalan raya, pergerakan di sini adalah pergerakan utama di sepanjang jalan tol, transisi menuju jalan arteri lewat pintu tol (*freeway off-ramp*), kemudian pergerakan lebih lanjut di sepanjang jalan arteri di mana lalu-lintas didistribusikan dan kemudian dikumpulkan lewat jalan pengumpul dan akhirnya tiba di tempat tujuan (bisa berupa garasi atau tempat parkir). Pergerakan yang lebih jauh lagi dari penumpang ini adalah sebagai seorang pejalan kaki di trotoar suatu jalan lokal, dan akhirnya tiba di tempat tujuannya.

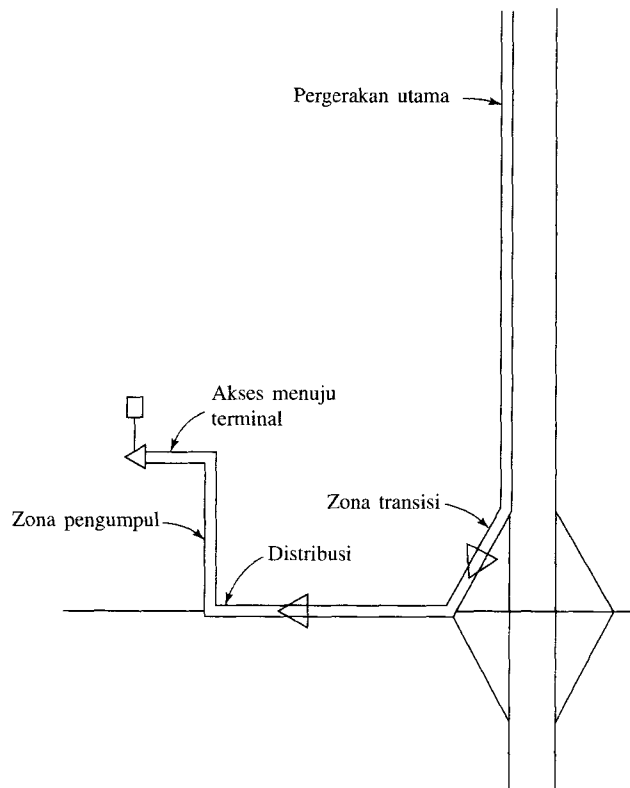
Patut dicatat bahwa pergerakan serupa juga cenderung terjadi ketika perjalanan menuju ke satu titik dimulai di mana penumpang pada saat itu memasuki fasilitas jalan tol. Gambar 1-8 memperlihatkan tingkatan-tingkatan pergerakan tersebut. Ketidakmampuan dari tiap-tiap bagian tingkatan untuk mengakomodasi tiap perjalanan merupakan salah satu alasan mengapa suatu sistem dinilai gagal.

Sebuah ilustrasi dari klasifikasi fungsional jaringan jalan raya di luar kota (*rural*) diperlihatkan pada Gambar 1-9, dan Gambar 1-10 memperlihatkan klasifikasi fungsional jaringan jalan di pinggiran kota (*suburban*). Konsep klasifikasi jalan raya sangat berhubungan dengan konsep aksesibilitas dan konsep mobilitas di mana konsep-konsep tersebut telah disinggung dalam bab ini. Gambar 1-11 mengilustrasikan hubungan antara akses, mobilitas, dan klasifikasi fungsional dari jalan raya dan jalan tol. Jalan tol dan jalan arteri mempunyai tingkat mobilitas yang tinggi karena keduanya memperkenankan kecepatan tinggi tetapi kedua jenis jalan ini tidak menyediakan aksesibilitas yang memadai bagi fasilitas di sekitarnya. Sebaliknya, jalan lokal memiliki aksesibilitas yang maksimum, namun mobilitas di jalan ini relatif buruk karena kecepatan yang rendah. Oleh karena itu, sebuah kota atau daerah harus berupaya untuk menyediakan porsi yang tepat antara jalan tol, jalan arteri, jalan raya, dan jalan lokal untuk

Tabel 1-1 Intisari Sistem-sistem Transportasi Utama

Sistem	Penyebaran	Mobilitas	Efisiensi	Moda	Layanan Penumpang	Layanan Barang
Jalan raya	Sangat tinggi; pemilik lahan memiliki akses langsung ke jalan atau jalan raya. Jalur pintas terbatas oleh faktor bentuk permukaan dan tata-guna lahan.	Kecepatan dibatasi oleh faktor manusia dan batas kecepatan. Kapasitas per kendaraan rendah, tetapi banyak kendaraan tersedia.	Tidak tinggi, dari sisi biaya, energi dan biaya lainnya.	Truk	Sangat sedikit	Antarkota, lokal, pertanian ke sentra pasar dan produksi, perkapalan kecil; peti kemas
				Bis	Antarkota dan lokal	Paket (antarkota)
				Mobil	Antarkota dan lokal	Hanya barang pribadi
				Sepeda	Lokal; rekreasi	Dapat diabaikan
Transportasi kereta api	Terbatas oleh investasi yang mahal dalam struktur jalurnya. Juga oleh faktor bentuk permukaan.	Kecepatan dan kapasitas bisa lebih besar dibanding moda jalan raya.	Umumnya tinggi, tetapi biaya tenaga kerja dapat menyebabkan efisiensi biaya yang rendah.	Kereta api	Kebanyakan < 300 mil dan angkutan daerah	Antarkota. Kebanyakan angkutan berat dan perkapalan besar; peti kemas
				Kereta api jarak pendek	Regional, antarkota	Tidak ada
Transportasi udara	Biaya bandara mengurangi aksesibilitas. Peluang yang sangat baik untuk jalur langsung.	Kecepatannya tertinggi, tetapi kapasitas per kendaraan terbatas.	Relatif rendah dari sisi biaya bahan bakar dan biaya operasi.	Pengangkutan udara	Kebanyakan > 300 mil dan dapat melintasi wilayah perairan.	Paket penting (tidak ada angkutan berat), peti kemas.
				Penerbangan komersial	Antarkota, bisnis, rekreasi	Jarang
Transportasi perairan	Jalur langsung dan aksesibilitas tergantung adanya jalur air yang dapat dilayari dan pelabuhan yang aman.	Kecepatan rendah. Kapasitas per kendaraan sangat tinggi.	Sangat tinggi: biaya rendah, hemat bahan bakar. Aman.	Kapal	Lalu-lintas jelajah laut. layanan ferry (penyeberangan)	Kargo angkutan berat, khususnya minyak bumi, peti kemas...
				Tongkang	Tidak ada	Kargo angkutan berat, khususnya minyak bumi, peti kemas.
Sistem-sistem arus berkesinambungan	Terbatas pada jumlah jalur dan titik-titik akses yang relatif sedikit.	Kecepatan rendah. Kapasitas besar.	Umumnya tinggi: penggunaan biaya energi yang rendah	Hovercraft	Layanan ferry	Jarang
				Jalur pipa	Tidak ada	Cairan, gas, dan slurries pada pipa yang pendek atau panjang
				Ban berjalan	Eskalator dan ban berjalan untuk jarak pendek	Material berat, kebanyakan < 10 mil
				Kabel	Lift dan tow untuk jarak pendek di daerah perbukitan	Penanganan material di daerah perbukitan

Sumber: Homburger dan Kell, 1988.

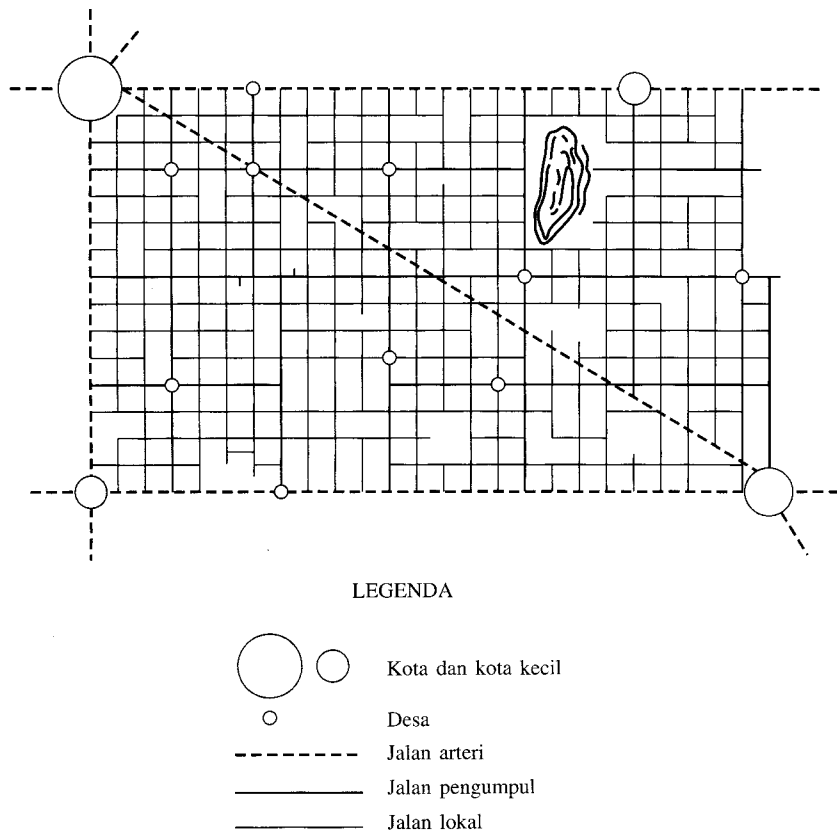


Gambar 1-8 Tingkatan Pergerakan (AASHTO, 2001).

menawarkan sistem yang aksesibilitas dan mobilitas yang seimbang demi kemudahan para penduduknya.

Distribusi Tipikal dari Jalan dan Jalan Raya Fungsional Distribusi tipikal jalan wilayah perkotaan diperlihatkan pada Tabel 1-2. Jalan arteri utama wilayah perkotaan melayani pusat-pusat aktivitas, seperti universitas, pusat perbelanjaan, dan stadion olahraga, dan juga merupakan koridor volume lalu-lintas terpadat. Perhatikanlah bahwa jalan arteri utama tersebut melayani volume perjalanan yang tinggi, meskipun jarak ruas jalannya relatif pendek. Jalan arteri turunan/arteri minor mengakomodasikan perjalanan dengan ruas panjang jalan tingkat sedang, kecepatan relatif tinggi, dan menghubungkan jalan arteri utama dengan jalan-jalan pengumpul. Sistem jalan pengumpul menyediakan layanan akses ke berbagai lahan dan arus lalu-lintas di dalam suatu lingkungan pemukiman, daerah bisnis, dan kawasan industri. Sistem jalan pengumpul menghubungkan sistem arteri minor dengan sistem jalan lokal. Akses langsung ke lahan-lahan di dekatnya dilayani oleh sistem jalan lokal.

Sistem jalan yang seimbang merupakan tujuan penting dalam rangka memberikan layanan terbaik bagi berbagai tipe dan jumlah perjalanan yang ada di kota metropolitan. Keseimbangan ini didasarkan pada analisis dari *total panjang perjalanan* (VMT atau, *vehicle-miles of travel*) yang terjadi di dalam setiap tipe jalan. Sebagai contoh, VMT yang terjadi di jalan-jalan lokal tidak lebih dari 10%, dan jalan pengumpul hanya menggunakan 20% dari VMT. Sisa sekitar 70% dari total kebutuhan lalu-lintas terjadi di sistem arteri dan jalan tol. Sebuah contoh analisis grafiknya diperlihatkan pada Gambar 1-12.



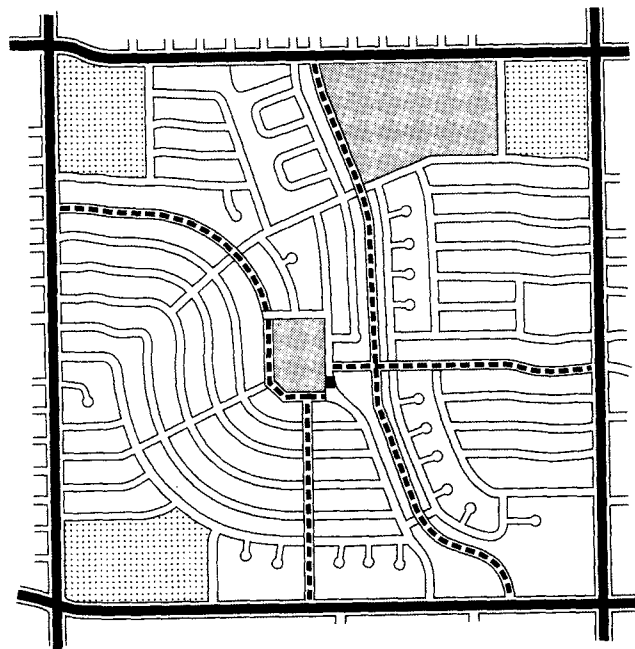
Gambar 1-9 Ilustrasi Skematik dari Jaringan Jalan raya Pedesaan yang diklasifikasikan berdasarkan Fungsinya.

10. KOMUNIKASI, TRANSPORTASI, DAN KESENJANGAN TRANSPOR

Di Amerika Serikat selama ini berlaku hipotesis yang menyatakan bahwa ada tiga moda transportasi yang mendominasi keseluruhan tingkatan transportasi yang tersedia bagi masyarakat: berjalan kaki untuk jarak yang pendek, mobil untuk jarak menengah, dan pesawat terbang untuk jarak jauh. Terdapat satu tingkatan transportasi gabungan yang meliputi tingkatan-tingkatan jaringan dan tingkatan-tingkatan wilayah perkotaan.

Para ahli perencana sangat menyadari jarak “penolakan” dari rata-rata pejalan kaki yang menggunakan sistem jalan raya, yaitu umumnya sekitar 400 meter atau $\frac{1}{4}$ mil. Lebih dari 400 meter, kebanyakan pejalan kaki membutuhkan semacam sistem mekanis untuk membawa mereka ke tempat tujuan. Sebagai contoh, jika seorang pejalan kaki hendak menempuh jarak 10 kali lebih besar dari 400 meter (yaitu 4 km atau 2,5 mil), orang tersebut biasanya tidak akan mau menghabiskan waktu selama 50 menit untuk berjalan, meskipun orang tersebut mempunyai banyak waktu luang. Dia pasti akan mencari alternatif transportasi lainnya yang lebih cepat. Terdapat banyak bukti yang menunjukkan bahwa orang memilih moda transportasi tidak hanya berdasarkan pertimbangan biaya saja tetapi juga berdasarkan pertimbangan waktu perjalanan. Tanpa kita sadari, jarak tempuh berhubungan dengan waktu tempuh.

Kita juga telah mengetahui bahwa karena ilmu pengetahuan dan teknologi membuat kita dapat melakukan perjalanan lebih cepat dan lebih cepat lagi, kita akan langsung memilih



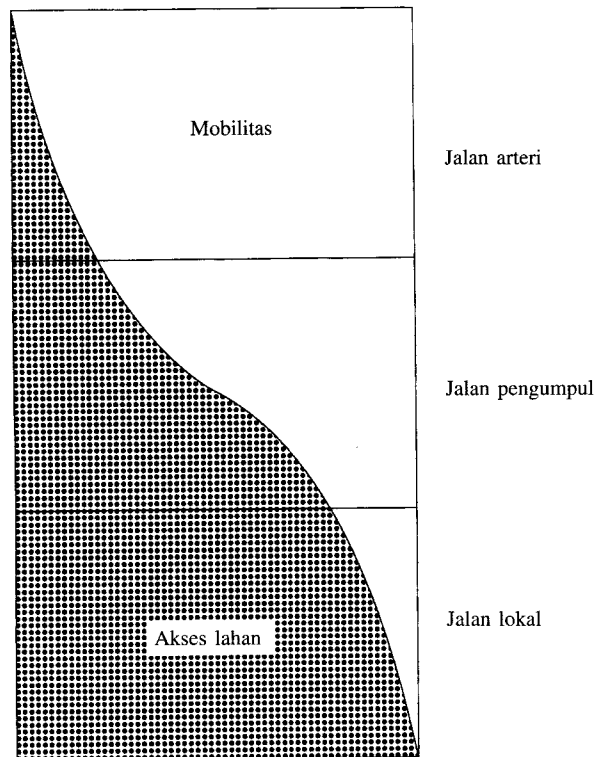
LEGENDA

	Jalan arteri		Jalan pengumpul
	Daerah komersial		Daerah publik
	Jalan lokal		

Gambar 1-10 Skema Sebagian Jaringan Jalan Pinggiran Kota (AASHTO, 2001).

transportasi dengan kecepatan tinggi, terlepas dari biayanya yang lebih tinggi daripada transportasi dengan kecepatan rendah. Gambar 1-13 dan 1-14 mengindikasikan bahwa kebutuhan akan kecepatan bergantung pada jarak yang ditempuh. Jarak jauh berarti membutuhkan kecepatan tinggi. Secara teoretis, seiring berjalannya waktu, seluruh bentuk transportasi akan bergerak pada kecepatan tinggi, seperti diperlihatkan oleh garis panah. Seluruh sistem yang terletak di atas garis panah pada suatu titik waktu dianggap sebagai cukup cepat; sistem-sistem yang terletak di bawah garis panah dikatakan sebagai terlalu rendah.

Selanjutnya mengenai kemampuan bawah-sadar manusia untuk menghubungkan jarak dan waktu, Tabel 1-3 menunjukkan bahwa ketika waktu tempuh perjalanan meningkat dua kali, jarak tempuh meningkat sepuluh kali dan kecepatan meningkat lima kali lipat. Fenomena ini umumnya menghasilkan tiga moda yang dominan: berjalan, menggunakan mobil, dan menggunakan pesawat terbang. Pada saat yang sama, ini menghasilkan "kesenjangan transportasi" yang besar. Tentu saja perhitungan ini, diperlihatkan pada Gambar 1-14, tidak sama untuk orang dengan tingkat ekonomi yang berbeda. Orang dapat dengan mudah mengabaikan pendapat ini dengan alasan bahwa jelas tidak tersedia pasar untuk moda seperti ini di dalam tingkatan transportasi (Gambar 1-13). Sebaliknya, adalah suatu keuntungan untuk memahami kebutuhan nyata pengguna transportasi dan kondisi-kondisi batas yang ditetapkan oleh masyarakat dan lingkungan atas moda-moda dalam tingkatan ini. Dengan semakin berkurangnya pasokan energi, maka identifikasi dan evaluasi atas kesenjangan transportasi ini menjadi sangat penting.



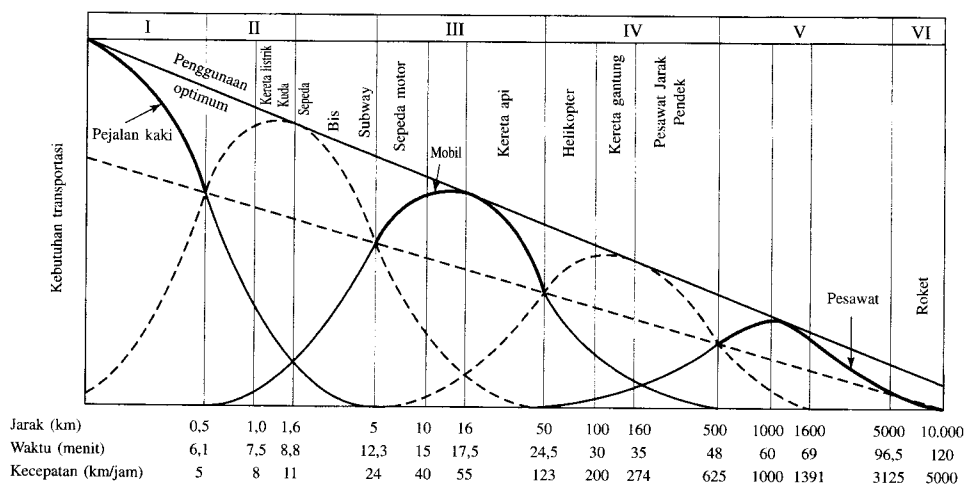
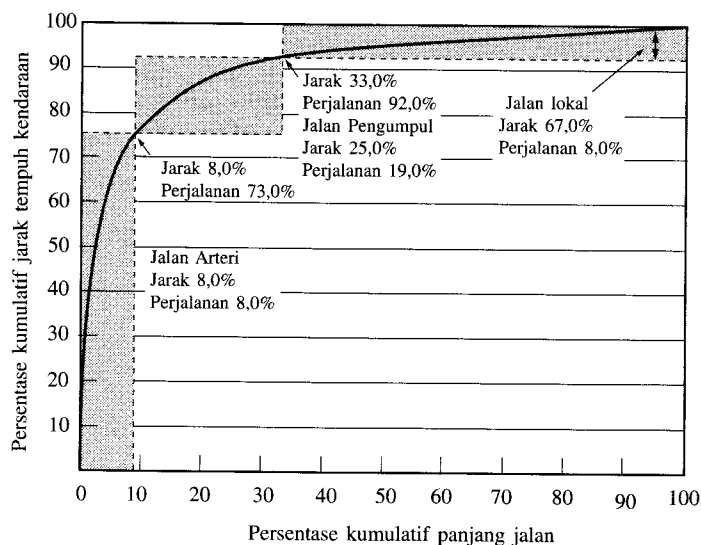
Gambar 1-11 Hubungan dari Sistem Klasifikasi Fungsional dalam Layanan Mobilitas Lalu-lintas dengan Akses Lahan (AASHTO, 2001).

Tabel 1-2 Distribusi Tipikal untuk Sistem Fungsional Wilayah Perkotaan

Sistem	Rentang	
	Volume perjalanan (%)	Jarak (%)
Jalan arteri utama	50	5
Jalan arteri turunan	25	10
Jalan pengumpul	5	10
Jalan lokal	20	75
Jumlah	100	100

Bagaimanakah kesenjangan transportasi ini dapat diisi, khususnya kesenjangan antara pejalan kaki dan pengguna mobil? Pengaturan ruang publik mungkin harus dikaji-ulang untuk mengisi kesenjangan tersebut jika moda-moda dan jaringan transportasi yang ada tidak mampu memberikan jawaban. Terdapat pula suatu kemungkinan melakukan pergantian moda dengan cara mengganti perjalanan konvensional menjadi perjalanan semu yaitu cukup dengan telekomunikasi. Hubungan ini diperlihatkan pada Gambar 1-15. Perjalanan semu ini tidak diragukan lagi akan mengurangi pergerakan lalu-lintas, menghemat jutaan galon bahan bakar, dan mengurangi resiko kecelakaan (Abler *et al.*, 1971).

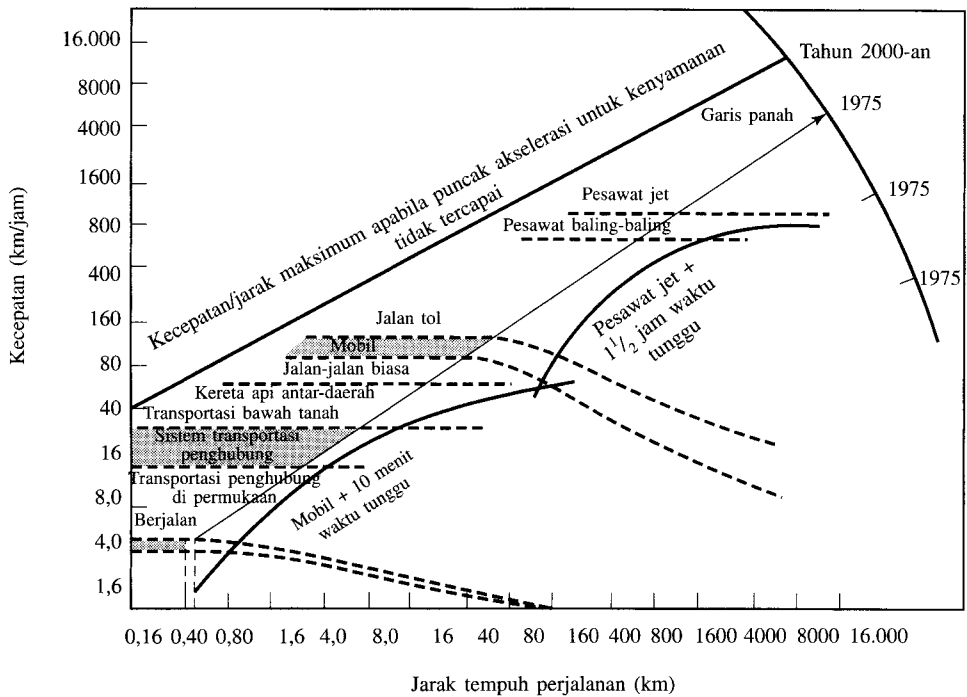
Keberhasilan manusia mengurangi waktu transportasi mungkin adalah salah satu pencapaian terbesar di akhir abad ke-20, yang dimungkinkan karena adanya berbagai macam perangkat elektronik. Tabel 1-4 menggambarkan kecepatan berbagai moda transportasi yang dihitung dengan menggunakan bilangan dasar 4,5. Perlu dicatat bahwa pergerakan daya pikir, gagasan, dan konsep, termasuk juga informasi umum, dapat dilakukan secepat cahaya, tetapi pergerakan fisik dari manusia dan barang masih terbatas pada kecepatan sebuah pesawat jet.



11. TRANSPORTASI DAN MASALAH-MASALAH YANG BERHUBUNGAN DENGAN TRANSPORTASI

Sejauh ini tidak ada yang dapat diungkapkan secara langsung mengenai perbandingan antara masalah transportasi di negara maju dan di negara berkembang. Karena transportasi di suatu wilayah perkotaan dan pedesaan mempengaruhi efisiensi ekonomi dan sosial daerah dan kota, dan juga karena hampir setiap orang menggunakan transportasi, maka pengoperasian sistem transportasi merupakan salah satu topik utama di dalam agenda para politisi dan manajer.

Pemecahan masalah-masalah transportasi telah menjadi salah satu tugas utama yang harus dilakukan oleh pemerintahan pusat dan daerah di dalam negeri dan di luar negeri. Problematika transportasi dewasa ini semakin meningkat, terlepas dari besarnya jumlah pengeluaran tahunan untuk mengembangkan berbagai sistem dan fasilitas transportasi.



Gambar 1-14 Kebutuhan akan Kecepatan bergantung pada Jarak Tempuh Perjalanan (Abler *et al*, 1971).

Thomson (1977) menjelaskannya sebagai berikut: “Jika memang ada satu kesimpulan yang sama dari hasil studi terhadap kota-kota besar di dunia, hal itu adalah fakta bahwa semua manusia tidak puas, sering diungkapkan dalam bentuk protes terbuka, terhadap kondisi transportasi mereka, mengenai perkembangannya beserta dampak-dampaknya terhadap kota yang mereka huni”. Sepertinya ada masalah dalam pergerakan lalu-lintas kita, khususnya pada jam-jam sibuk, yang mengakibatkan pengguna transportasi mengalami keterlambatan jutaan jam. Sejalan dengan masalah ini adalah meningkatnya jumlah kecelakaan. Kecelakaan fatal, orang-orang yang luka, dan berbagai kerusakan semakin meningkat, meskipun kelihatannya hanya sedikit dari banyak kasus kecelakaan yang terjadi akibat ketidaksengajaan.

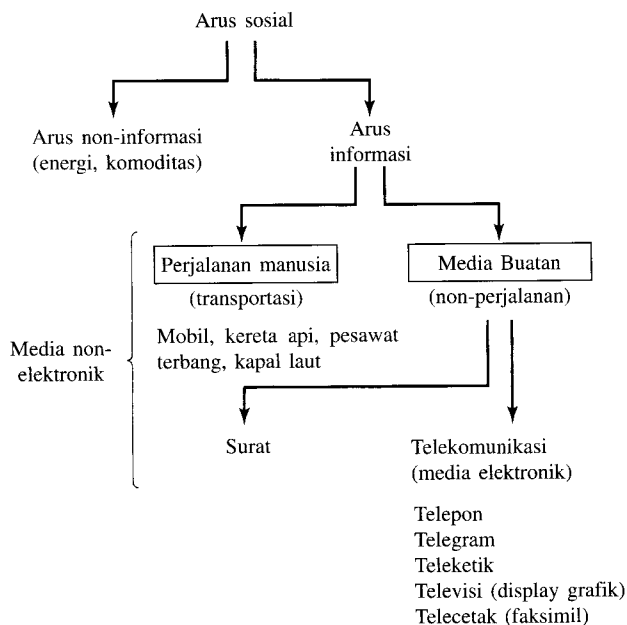
Penggunaan transportasi publik tengah mengalami penurunan, meskipun pemerintah melakukan intervensi dan memberikan subsidi yang tinggi. Layanan yang tidak konsisten, jadwal

Tabel 1-3 Konsep Fungsi Transportasi

Jarak, d (km)	Waktu, t (menit) ^a	Kecepatan Transpor Teoretis (km/jam)	Alternatif Transportasi
0,4	5	4,8	Berjalan
1	6,6	9,1	Bis (pusat kota)
4	10	24	Mobil atau sepeda
10	13,2	45,5	Mobil (kota atau perkotaan)
40	20	120	Jalan raya
100	26,4	228	Kereta api atau pesawat terbang
1.000	52,8	1,140	Jet

$$a_t = 6,6d^{0.3}$$

Sumber: Kolbuszewski, 1979.



Gambar 1-15 Hubungan antara Perjalanan Manusia dan Media Buatan dengan Arus Sosial (Kolbuszewski, 1979).

yang tidak pasti, dan meningkatnya tarif telah memperkecil penggunaan transportasi publik. Para pejalan kaki dan pengguna sepeda protes karena diperlakukan sebagai penduduk kelas dua. Kriminalitas di jalan raya mengurangi semangat pejalan kaki dan pengguna sepeda untuk terus menggunakan moda transportasi ini. Kelompok-kelompok di dalam masyarakat melakukan protes yang lebih keras mengenai tingkat kebisingan dan polusi udara akibat lalu-lintas kendaraan bermotor. Juga terdapat protes-protes sehubungan dengan pembatasan lahan parkir di pusat kota dan daerah komersial. Beberapa tahun belakangan ini orang juga mendengar protes terhadap pemerintah tentang masalah-masalah keadilan. Saat ini terus terjadi perseteruan (antara masyarakat dan pemerintah) terkait dengan pembangunan fasilitas dan untung-rugi yang dirasakan oleh masing-masing lapisan masyarakat. Masyarakat ekonomi lemah umumnya merasa bahwa dana-dana masyarakat lebih banyak digunakan untuk memberikan keuntungan bagi golongan mampu daripada untuk masyarakat ekonomi lemah. Pemecahan masalah transportasi lebih banyak dilakukan dari basis ekonomi. Harga bahan bakar naik terus-menerus dan masyarakat cenderung menyalahkan pemerintah karena tidak membatasi kepemilikan kendaraan pribadi.

Tabel 1-4 Kecepatan dan Moda

Moda	Kecepatan (mph)	Faktor (aproksimasi)
Tentara (berjalan kaki)	0,5	$4,5^0/2 = 0,5$
Kereta, gerobak, kapal layar	2,25	$4,5^1/2 = 2,25$
Kapal uap kuno	10	$4,5^2/2 = 10,13$
Mobil, kereta api	45	$4,5^3/2 = 45,56$
Pesawat berbalik-baling	200	$4,5^4/2 = 205,03$
Pesawat jet	900	$4,5^5/2 = 922,64$
Misil	4.000	$4,5^6/2 = 4.152$
Satelit di orbit	18.000	$4,5^7/2 = 18.683$
Telekomunikasi	Kecepatan cahaya	$4,5^{14}/2 = 1,396 \times 10^9$

Sumber: Wolfe, 1963, hal. 120.

Penduduk di kota metropolitan berpendapat bahwa pemerintah takut untuk menerapkan metoda penetapan harga seperti yang telah diterapkan di Singapura untuk mengurangi kepadatan lalu-lintas dan membatasi jumlah kendaraan.

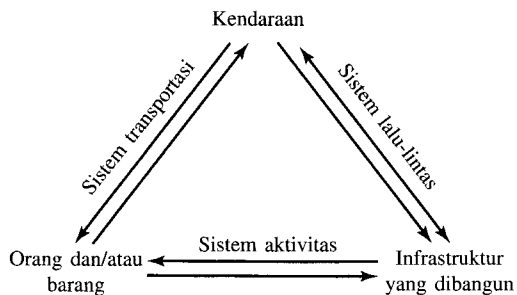
Orang menjadi bertanya-tanya mengapa institusi pemerintahan enggan untuk melakukan sesuatu yang positif. Salah satu alasannya adalah sifat 'keterbukaan' dari sistem transportasi, yang membuat pemerintah mengalami kesulitan untuk menerapkan alternatif teknologi bagi pemecahan masalah-masalah transportasi. 'Keterbukaan' ini merupakan suatu gejala dari hubungan yang rumit antara sektor industri transportasi (termasuk industri otomotif) dengan sektor-sektor lainnya.

Terlepas dari itu semua, masalah yang dilihat dalam dunia transportasi mempertegas betapa pentingnya mengkaji kebijakan publik secara lebih dekat. Owen (1976) menyatakan bahwa langkah apapun yang diambil oleh penentu kebijakan di masa yang akan datang, mereka harus memperhatikan faktor-faktor berikut ini:

- Besarnya ketergantungan terhadap kendaraan bermotor dan bagaimana pengaruhnya terhadap lokasi pemukiman penduduk dan lokasi kerja mereka.
- Sistem transportasi publik nantinya harus mampu melayani seluruh wilayah secara efektif.
- Kemampuan pemerintah dan kebijakan-kebijakannya dalam menyediakan sistem transportasi yang adil baik kepada penduduk yang memiliki mobil ataupun tidak.
- Kombinasi antara teknologi baru dan usaha untuk menciptakan lingkungan kota yang lebih baik dalam jangka panjang.
- Masalah-masalah baru yang menjadi lebih rumit akibat ketidakpastian suplai energi.
- Pemecahan masalah transportasi kota melalui pendekatan sektor negara dan sektor swasta; dan implikasi biayanya terhadap alternatif kebijakan pemerintah.

12. TRANSPORTASI DAN KESINAMBUNGAN

Gambar 1-16 merupakan model sederhana yang memperlihatkan interaksi antara tiga komponen pokok: (1) Orang dan/atau barang yang membutuhkan transportasi; (2) kendaraan bermotor atau kereta api atau kendaraan perairan yang digunakan untuk mengangkut orang dan/atau barang; dan (3) infrastruktur, yang terdiri dari bermacam-macam sarana, seperti jalan, jalan raya, jalan kereta api, jalur pipa, jalur perairan, bandar udara, dan pelabuhan laut. *Sistem aktivitas* meliputi pergerakan orang dan barang antara dua atau lebih posisi ditinjau dari jaraknya terhadap infrastruktur. Sistem aktivitas dapat diibaratkan sebagai sebuah pasar untuk pergerakan. Seberapa besar pasar ini diukur dari jumlah perdagangan dan perjalanan pada tingkat makro, sedangkan ukuran, tipe, dan frekuensi pengapalan merupakan faktor penting pada tingkat mikro. *Sistem transpor* terdiri dari orang dan barang yang membutuhkan kendaraan (di samping menggunakan kekuatannya sendiri) untuk membawa mereka dari satu tempat ke tempat lainnya. Setiap pergerakan adalah layanan transpor. Permintaan (atau kebutuhan) atas layanan diimbangi dengan cukupnya suplai layanan yang diberikan oleh kendaraan dan pengendaranya di jalan, jalur, dan rutanya. Konsekuensinya, kendaraan dilihat sebagai sarana transpor. Di dalam *sistem lalu-lintas*, pergerakan fisik aktual dari transpor berlangsung dalam ruang dan waktu, dengan mengasumsikan bahwa orang dan barang bergerak bersama-sama dengan sarana transpor tersebut (dalam hal ini, kendaraan) di sepanjang jaringan fisik. Setiap kendaraan (atau sekelompok kendaraan yang secara fisik terhubung satu dengan lainnya) dapat dilihat sebagai suatu unit lalu-lintas, dan arus yang dihasilkan biasanya diukur sebagai jumlah kendaraan per satuan



Gambar 1-16 Model Dasar yang menghubungkan Kendaraan, Orang/Barang dan Infrastruktur yang dibangun.

waktu pada segmen tertentu dari infrastruktur, yang berarti menggunakan (menempati) bagian tertentu dari infrastruktur tersebut dalam kurun waktu tertentu (Sjostedt, 1994).

Dalam dua dekade terakhir, telah dilakukan suatu koordinasi untuk ketiga subsistem di atas berkat pesatnya perkembangan komunikasi, informasi, dan transportasi, dan satu upaya tengah dilakukan untuk memindahkan orang dan barang dengan moda yang tepat, dalam jumlah yang tepat, dengan kualitas terbaik, menuju tempat yang tepat pada waktu yang tepat. Sebagai contoh, saat ini sedang dilakukan penelitian mengenai interaksi antara subsistem kendaraan dan subsistem infrastruktur untuk mendapatkan sistem “pengendalian” yang sesuai. Dewasa ini, berbagai program riset tengah dilakukan: PROMETHEUS dan DRIVE di Eropa, SSVS (*Super Smart Vehicle System*) di Jepang, IVHS (*Intelligent Vehicle Highway System*) di Amerika Serikat, semuanya berupaya menambah jenis fungsi informasi dan fungsi pengendalian pada sistem infrastruktur-kendaraan.

Kemajuan pesat transportasi ini semua ada harganya. Sebagai contoh, polusi udara, kebisingan, dan rusaknya kondisi tanah telah menyadarkan manusia bahwa “kemajuan” ada batasnya. Ancaman bahaya terhadap iklim dunia dan memburuknya kondisi-kondisi global lainnya mengakibatkan transisi ke arah kesinambungan semakin menguat. Laporan Brundtland tahun 1987 menyebutkan bahwa pembangunan berkesinambungan adalah pembangunan yang dapat memenuhi kebutuhan saat ini dengan juga memperhitungkan kemampuan generasi mendatang dalam memenuhi kebutuhannya (*World Commission on Environment and Development*, 1987.)

Konsep pembangunan berkesinambungan dewasa ini mulai mendapat perhatian dunia. Konsep ini menyatakan suatu keharusan untuk menghentikan kerusakan yang tak-terbarukan terhadap ekosistem dan kesadaran bahwa masalah-masalah lingkungan harus mampu mengakomodasi kebutuhan manusia, baik saat ini maupun di masa mendatang. Konsep kesinambungan menggabungkan tujuan-tujuan ekonomi, lingkungan, sosial, dan energi, yang semuanya mempengaruhi dan dipengaruhi oleh transportasi.

13. PEMBANGUNAN TEKNOLOGI TRANSPORTASI

Dalam sepuluh tahun terakhir, berbagai aspek kemajuan teknologi, mulai dari komponen kendaraan bermotor sampai dengan sistem manajemen lalu-lintas modern, telah hadir dan ini dikenal dengan istilah Sistem Transportasi Cerdas (*Intelligent Transportation System/ITS*). Meskipun kebanyakan dari teknologi tersebut masih dalam tahap percobaan atau masih terbatas penggunaannya di lapangan, U.S. DOT bermaksud menerapkan teknologi ITS di seluruh Amerika Serikat di 75 kota metropolitan terbesar dalam kurun waktu 10 tahun mendatang.

Kebutuhan untuk menggunakan teknologi ITS didasarkan pada kenyataan bahwa dalam 10 tahun terakhir telah terjadi 30 persen peningkatan lalu-lintas, yang mengakibatkan orang-

orang Amerika kehilangan 2 juta jam per tahun (setara dengan kehilangan \$20 juta per tahun) akibat kemacetan. Dunia bisnis juga diperkirakan kehilangan \$40 miliar per tahun akibat masalah lalu-lintas. Diharapkan bahwa teknologi ITS dapat mengurangi masalah-masalah tersebut.

ITS paling tidak terdiri dari sembilan komponen, yang dapat diuraikan secara singkat sebagai berikut:

1. Sistem pengendalian rambu lalu-lintas “cerdas”, yang dapat mengatur arus lalu-lintas padat pada persimpangan jalan dan menyesuaikan lampu lalu-lintas secara otomatis untuk mengatur lalu-lintas.
2. Sistem manajemen jalan tol menghitung jumlah kendaraan masuk ke jalan tol dengan rambu-rambu yang diletakkan di pintu jalan tol. Meskipun teknologi ini sudah digunakan sejak lama, tetapi sistem ini sekarang sedang disempurnakan dengan cara menyambung rambu dengan sistem-sistem deteksi lainnya—sebagai contoh, sistem pengawasan kecelakaan.
3. Sistem manajemen sarana penghubung membantu para pengelola untuk mengendalikan dan mengawasi pergerakan kendaraan angkutan umum dan menyesuaikan jadwalnya secara teratur.
4. Sistem manajemen kecelakaan mendeteksi dan mengatur masalah lalu-lintas tidak langsung yang disebabkan oleh berbagai kecelakaan yang tidak dapat diduga sebelumnya, seperti kecelakaan lalu-lintas, kemacetan, dan material yang tumpah di jalanan yang mengakibatkan penumpukan lalu-lintas dalam periode waktu tertentu. Sistem ini sedang dalam masa uji coba.
5. Pengumpulan tol elektronik di jembatan dan jalan telah dioperasikan di berbagai tempat.
6. Sistem pembayaran karcis elektronik juga telah lama dilakukan, tetapi masih membutuhkan penyempurnaan lebih jauh.
7. Lampu darurat memungkinkan berbagai kendaraan darurat (seperti ambulans, pemadam kebakaran, dan lain-lain) untuk mengendalikan lampu lalu-lintas di persimpangan jalan. Pengendara kendaraan darurat dapat menekan tombol lampu hijau lalu-lintas sampai persimpangan jalan dapat dilalui dengan leluasa.
8. Sistem informasi perjalanan menyediakan informasi lalu-lintas bagi para pengguna, sehingga mereka dapat menyesuaikan rencana perjalanannya berdasarkan informasi yang mereka dapat.
9. Sistem pemandu rute berdasarkan *Global Positioning System* (satelit) dan membantu para pengendara dalam mengetahui jarak dan arah untuk memilih tujuan.

14. ISTEА dan TEА-21

Pada tanggal 18 Desember 1991 Presiden George Bush menandatangani *Intermodal Surface Transportation Efficiency Act / ISTEА* (Undang-undang Efisiensi Transportasi Permukaan Intermoda) tentang otorisasi bagi jalan raya, keamanan jalan raya, dan transportasi massal untuk enam tahun ke depan. Total biaya yang disediakan adalah sekitar \$155 miliar untuk tahun fiskal 1992-1997.

Tujuan dari undang-undang ini secara jelas dinyatakan dalam pernyataan kebijakannya: “membangun Sistem Transportasi Intermoda Nasional yang ekonomis, ramah lingkungan, akan menyediakan fondasi bagi bangsa untuk berkompetisi dalam ekonomi global dan akan menggerakkan manusia dan barang dengan energi yang efisien”.

Aturan dalam undang-undang ini merefleksikan tujuan kebijakan penting, meliputi:

- Sistem Jalan-raya Nasional (*National Highway System/NHS*), yang terutama terdiri dari rute antar-negara-bagian yang telah ada dan sebagian dari Sistem Utama, dibangun untuk lebih memfokuskan sumber-sumber daya negara pada jalan-jalan yang bernilai sangat penting bagi perjalanan antar-negara-bagian dan pertahanan nasional, jalan-jalan yang berhubungan dengan moda-moda transportasi lainnya, dan jalan-jalan yang sangat penting untuk perdagangan internasional.
- Pemerintah daerah dan pemerintah negara-bagian diberikan keleluasaan untuk menetapkan solusi transportasi, baik dalam bentuk jalan raya atau angkutan umum, dan perangkat sistem perencanaan dan manajemen yang lebih maju guna membantu mereka dalam menentukan pilihan terbaik.
- Teknologi baru, seperti sistem jalan yang cerdas dan sistem levitasi magnetis, dibiayai untuk mendorong negara mencari cara baru menyediakan transportasi abad ke-21.
- Sektor swasta ditetapkan sebagai sumber pendanaan bagi peningkatan transportasi. Larangan penggunaan dana dari pusat untuk pembangunan jalan tol telah memungkinkan sektor swasta untuk dapat memiliki fasilitas tersebut.
- Undang-undang ini tetap memberi dana bagi transportasi massal.
- Dana pembangunan jalan raya tersedia untuk kegiatan yang dapat meningkatkan kualitas lingkungan, seperti penghijauan, pengurangan habitat binatang liar yang telah rusak, situs-situs bersejarah, aktivitas yang memberikan kontribusi bagi peningkatan mutu udara, proyek-proyek peningkatan bagi pengendara sepeda dan pejalan kaki, dan proyek untuk memperindah jalan raya.
- Keamanan di jalan raya ditingkatkan lagi dengan memasyarakatkan penggunaan sabuk pengaman dan helm bagi pengendara sepeda motor.
- Keharusan untuk menyeragamkan cara pendaftaran kendaraan dan pelaporan pajak bahan bakar. Hal tersebut akan memudahkan pencatatan dan pelaporan dalam bisnis dan akan meningkatkan produktivitas industri pengangkutan truk dan bis.

Tanggal 9 Juni 1998, Presiden Bill Clinton mengesahkan *Transportation Equity Act for Twenty-first Century/TEA-21* atau Undang-undang Pemerataan Transportasi untuk Abad-21, yang berisi peraturan mengenai jalan raya, keamanan jalan raya, sarana penghubung, dan berbagai program transportasi lainnya untuk enam tahun mendatang. Isi dari TEA-21 ini merupakan kelanjutan dari ISTEA. Bedanya, ISTEA menggarisbawahi efisiensi, sedangkan TEA-21 berbicara tentang masalah pemerataan. Undang-undang tersebut mempertegas komitmen untuk menyediakan investasi yang seimbang dalam pembangunan jalan raya, sistem penghubung, dan fasilitas-fasilitas intermoda.

Undang-undang ini juga melindungi kesehatan dan keamanan masyarakat melalui program peningkatan penggunaan sabuk pengaman, peningkatan keamanan truk, dan pengurangan bahaya di persimpangan kereta api. Undang-undang ini juga melarang pengendara mengemudi dengan kadar alkohol di atas 0,08% di dalam darah. Undang-undang ini juga mendukung strategi-strategi jitu untuk melindungi kesehatan masyarakat dan lingkungan, seperti Program Pengendalian Kepadatan Lalu-lintas dan Peningkatan Mutu Udara (*Congestion Mitigation and Air Quality Improvement Program*) untuk membantu masyarakat mendapatkan udara yang bersih, dan teknologi-teknologi baru, seperti kendaraan berpolusi rendah dan sistem transportasi cerdas.

TEA-21 menekankan peran keterlibatan masyarakat dalam proses perencanaan dengan memberikan peluang kepada operator sarana penghubung, suplier kargo, dan sebagainya, untuk berpartisipasi dan memberikan saran atas rencana dan program yang akan dibuat (U.S. DOT, 1991).

RANGKUMAN

1. Rekayasa transportasi merupakan bidang studi yang sangat luas, melibatkan perencanaan, desain fungsional, operasi, dan pengelolaan fasilitas untuk bermacam-macam moda transportasi.
2. Transportasi yang baik menjamin pergerakan manusia dan barang yang aman, cepat, nyaman, mudah, ekonomis, dan ramah lingkungan.
3. Teknik transportasi dipraktekkan oleh para penentu kebijakan, manajer, ahli perencanaan, perancang, insinyur, spesialis operasi dan pemeliharaan, serta evaluator.
4. Teknik transportasi merupakan bidang studi multidisipliner yang dasar-dasar kerangka kerjanya diambil dari disiplin-disiplin ilmu lainnya seperti ekonomi, geografi, dan statistik.
5. Pendekatan sistem adalah sebuah filosofi pemecahan-masalah yang telah sukses diaplikasikan dalam rekayasa transportasi.
6. Alasan mengapa, kapan, dan bagaimana manusia dan barang bergerak adalah masalah yang kompleks.
7. Tata-guna lahan adalah salah satu faktor utama yang menentukan pergerakan dan aktivitas. Suatu proses berbentuk-siklus yang menghubungkan transportasi dan aktivitas-aktivitas tata-guna lahan dapat memberikan jawaban-jawaban fundamental bagi pola-pola tata-guna lahan dan kebutuhan-kebutuhan transportasi sepanjang masa.
8. Bentuk fisik dari kebanyakan sistem transportasi terdiri dari elemen-elemen dasar: jalur-penghubung (*link*), kendaraan, dan terminal.
9. Terdapat suatu hubungan antara perilaku manusia dan transportasi. Beberapa faktor lingkungan fisik, seperti pengaturan ruang dan kondisi fisik, mempunyai dampak langsung terhadap perilaku manusia.
10. Paling tidak terdapat tiga atribut dasar dari sistem transportasi yang dapat digunakan untuk tujuan evaluasi: penyebaran atau aksesibilitas, mobilitas, dan efisiensi.
11. Meskipun sistem-sistem transportasi dapat digolongkan dengan berbagai cara, klasifikasi fungsional adalah salah satu yang sangat berguna bagi para insinyur.
12. Terdapat bukti kuat yang memperlihatkan bahwa orang memilih suatu moda transportasi tidak hanya berdasarkan faktor biaya, tetapi juga faktor waktu. Fenomena ini menghasilkan kesenjangan transportasi yang banyak dijumpai di negara maju.
13. Hubungan antara transportasi dan kesinambungan telah disadari di seluruh dunia.
14. Teknologi mutakhir dalam dunia transportasi mulai banyak digunakan.

DAFTAR PUSTAKA

- ABLER, R., J. ADAMS, and P. GOULD, (1971). *Spatial Organization*, Prentice Hall, Englewood Cliffs, NJ.
- AMERICAN ASSOCIATION OF STATE HIGHWAY AND TRANSPORTATION OFFICIALS (AASHTO) (2001). *A Policy on Geometric Design of Highway and Streets*, AASHTO, Washington, DC.
- BELL, G., and J. TYRWHITT (1972). *Human Identity in the Urban Environment*, Penguin Books, Middlesex, England.
- CARTER, E.C., and W. S. HOMBURGER (1978). *Introduction to Transportation Engineering*, Reston Publishing, Reston, VA.
- CORNELL, A. H. (1980). *The Decision-Maker's Handbook*, Prentice Hall, Englewood Cliffs, NJ.
- GRAY, G. E., and L. A. HOEL (eds) (1992). *Public Transportation*. Prentice Hall, Englewood Cliffs, NJ.
- HAY, WILLIAM W. (1977). *An Introduction to Transportation Engineering*, 2nd ed. Wiley, New York.
- HOEL, L. A. (1982). Transportation Education in the United States, *Transport Reviews*, vol. 2., no. 3.
- HOMBURGER, W. S., and J. H. KELL (1988). *Fundamentals of Traffic Engineering*, 11th ed., University of California, Berkeley.
- INSTITUTE OF TRANSPORTATION ENGINEERS (ITE) (1987). *Membership Directory*, ITE, Washington, DC.
- ISTEA (1991). *Intermodal Surface Transportation Efficiency Act of 1991*. U.S. DOT, Washington, DC.
- KHISTY, C. J. (1981). Challenges in Teaching Design Courses in Transportation Engineering, *Proceedings of the American Society for Engineering Education*.
- KHISTY, C. J. (1983). Assessing the Built Environment for Pedestrians through Behavior Circuits, *Transportation Research Record 904*, National Academy of Sciences, Washington, DC.
- Khisty, C. J. (1985). Is the Urban Planning Education Necessary for Civil Engineers? *Transportation Research Record 1045*, National Academy of Sciences, Washington, DC.
- Khisty, C. J. (1986). Undergraduate Transportation Engineering Education. *Transportation Research Record 1101*. National Academy of Sciences, Washington, DC.
- KHISTY, C. J. (1987). Urban Planning Education for Civil Engineers, *ASCE Journal of Urban Planning and Development*, pp. 54-60.
- KHISTY, C. J., and J. MOHAMMADI (2001). *Fundamentals of System Engineering*, Prentice Hall, Upper Saddle River, NJ.
- KOLBUSZEWSKI, J. (1979). How Decisions in Transportation Safety Will Ultimately Be Taken, in *Transportation Safety*, The Institute for Safety in Transportation Proceedings, San Diego.
- LAY, M. G. (1986). *Handbook of Road Technology*, vol. 1, Gordon and Breach, New York.
- NATIONAL COUNCIL ON PUBLIC WORKS IMPROVEMENT (NCPWI) (1986). *Defining the Issues*, NCPWI, Washington, DC.
- NATIONAL HIGHWAY INSTITUTE (NHI) (1980). *Highway Safety and Traffic Study Program*, Washington, DC.
- OWEN, W. (1976). *Transportation for Cities*, Brookings Institution, Washington, DC.
- SJOSTEDT, LARS. (1994). A Theoretical Framework for Analyzing Issues of Sustainable Mobility, *SAE International*, Warrendale, PA.
- THOMSON, J. M. (1977). *Great Cities and Their Traffic*, Penguin Books, Middlesex, England.
- U.S. DOT (1994). *Transportation Statistics, Annual Report, 1994*. U.S. DOT. Bureau of Transportation Statistics, Washington, DC.
- Wegman, F. J., and E. A. Beimborn (1973). Transportation Centers and Other Mechanism to Encourage Interdisciplinary Research and Training Efforts in Transportation, *Highway Research Record 462*, National Academy of Sciences, Washington DC.
- WOLFE, R. I. (1963). *Transportation and Politics*, D. Van Nostrand, Princeton, NJ.
- WORLD COMMISSION ON ENVIRONMENT AND DEVELOPMENT (1987). *Our Common Future*, Oxford University Press, Oxford, England.

SOAL-SOAL LATIHAN

1. Apakah perbedaan mendasar antara teknik transportasi dan teknik jalan raya?
2. Persimpangan dua jalan raya diatur oleh sistem-tanda-berhenti empat-tahap (masing-masing jalan memiliki sebuah tanda berhenti). Selama bertahun-tahun, lalu-lintas di persimpangan ini telah meningkat 50%, yang mengakibatkan penundaan bagi para pengendara. Buatlah beberapa alternatif tindakan yang dapat dilakukan seorang insinyur untuk mengatasi situasi ini. Apakah yang akan terjadi jika alternatif "tidak berbuat apa-apa" adalah langkah yang diambil?
3. Sebuah kota menetapkan target-target berikut ini: (1) membangun sebuah sistem transportasi multimoda yang seimbang dan terintegrasi untuk dapat melayani kebutuhan transportasi saat ini dan masa mendatang di kota tersebut dan memberikan kenyamanan memilih di antara berbagai moda untuk perjalanan ke sekolah, tempat bekerja, belanja, bisnis, dan rekreasi; (2) menyediakan sistem transportasi ekonomis yang akan mengoptimalkan penggunaan pajak penduduk, mengurangi konsumsi bahan bakar, dan melindungi lingkungan. Terhadap masing-masing dari dua target tersebut buatlah (a) satu solusi yang paling tidak terdiri dari 3 objektif untuk masing-masing target; (b) satu solusi yang paling tidak terdiri dari 2 kebijakan untuk masing-masing target; (c) beberapa ukuran keefektifan yang dapat digunakan untuk menetapkan nilai kesuksesan dari tiap-tiap objektif.
4. Dengan penggunaan teknologi tinggi dalam hampir setiap sisi keamanan, perubahan besar apakah yang Anda ramalkan yang akan terjadi pada (a) bentuk wilayah, (b) transportasi dan (c) kualitas hidup rata-rata penduduk?
5. Wawancarailah 20 teman Anda secara acak di kampus dan catatlah moda transportasi apa yang mereka gunakan untuk pergi kuliah, catat pula jumlah perjalanan yang mereka lakukan setiap hari untuk tujuan yang berbeda-beda setiap minggu dan perkiraan total jarak yang ditempuh. Buatlah jawaban Anda dalam tabel yang komunikatif. Tentukanlah biaya tiap perjalanan tersebut (biaya yang keluar dari kantong). Tulislah laporan singkat tentang wawancara ini dan buatlah ringkasan atas hasil yang Anda peroleh.
6. Apakah karakteristik utama dari kendaraan bermotor yang telah mendominasi moda perjalanan di Amerika Serikat?
7. Misalkan Anda pergi ke sebuah universitas di mana Anda mempunyai pilihan untuk pergi dengan berjalan kaki, naik sepeda, menggunakan bis, menumpang mobil teman, atau membawa mobil sendiri. Buatlah matriks di mana kriteria Anda untuk pilihan di antara moda perjalanan tersebut dibuat dalam baris, sedangkan nilai pilihan Anda dibuat dalam kolom (Pelajari kembali Tabel P-1). Moda apakah yang Anda pilih?
8. Sebuah survey terhadap suatu daerah di negara bagian Washington menunjukkan hasil seperti terlihat pada tabel berikut ini.

	Wilayah Pedesaan		Wilayah Perkotaan	
	Jarak (%)	Jarak-kendaraan (%)	Jarak (%)	Jarak-kendaraan (%)
Jalan lokal	65	5	75	15
Jalan pengumpul	20	20	5	5
Jalan arteri turunan			15	60
Jalan arteri	15	75		
Jalan arteri utama			5	20

Buatlah angka-angka dalam tabel tersebut menjadi sebuah grafik yang sumbu mendatarnya adalah persentase kumulatif jarak tempuh dan sumbu vertikalnya adalah persentase kumulatif kendaraan. Apakah kesimpulan yang dapat diambil dari grafik yang Anda gambar?

9. Apakah menurut Anda kesenjangan transportasi dapat diatasi dengan moda yang tepat pada tahun 2020? Lengkapi jawaban Anda dengan fakta-fakta yang meyakinkan.

10. Apakah saran yang Anda berikan kepada pemerintah untuk mengatasi kesenjangan transportasi?
11. Lihatlah kembali Tabel 1-3.
 - a. Ubahlah kolom jarak (kilometer) menjadi satuan mil dan kolom kecepatan transpor teoretis (kilometer per jam) menjadi mil per jam.
 - b. Berapakah nilai a dan b dalam persamaan $t = a.d^b$, jika waktu t dihitung dalam menit dan jarak d dihitung dalam mil?
12. Sebagai suatu bangsa, pelajaran apakah yang dapat kita ambil dalam 30 tahun terakhir yang berhubungan dengan sistem transportasi kita?
13. Untuk setiap masalah transportasi yang dinyatakan dalam bab ini, berikan paling tidak dua alternatif pemecahan masalah. Apakah menurut Anda semua solusi ini dapat diterapkan di lapangan? Apakah menurut Anda masyarakat dapat menerimanya? Jika tidak, mengapa?
14. Carilah masalah apa saja yang berhubungan dengan tiap sistem transportasi berikut ini di dalam sebuah kota metropolitan yang besar: (a) jaringan jalan, (b) sistem transit (c) sistem informasi perjalanan dan (d) sistem fasilitas bagi pejalan kaki.
15. Mengapa konsep kesinambungan (*sustainability*) sangat penting di suatu negara? Dari apa yang Anda baca di surat kabar dan Anda tonton di televisi, apakah Anda merasa bahwa pemerintah Indonesia sudah cukup serius menangani kesinambungan ini? Diskusikanlah.
16. Sebutkan keuntungan dan kerugian utama dari mengimplementasikan *Intelligent Transportation System (ITS)*? Bagaimanakah menurut Anda golongan mampu dan kalangan ekonomi lemah akan dipengaruhi oleh ITS?

Ekonomi Transportasi

1. RUANG LINGKUP EKONOMI TRANSPORTASI

Alasan mengapa orang dan barang bergerak dari satu tempat ke tempat lainnya telah diuraikan dalam Bab 1. Telah dijelaskan pula bahwa pergerakan atau arus ini bisa terjadi karena adanya sistem-sistem transportasi berikut jaringannya (jalan, jalan raya, rel kereta api, dan sebagainya). Dalam bab ini, kita akan mempelajari interaksi antara permintaan (kebutuhan) transportasi (misalnya, keinginan untuk mengadakan perjalanan dan kemampuan membiayai perjalanan tersebut) dan penawaran (ketersediaan) transportasi (misalnya, ketersediaan jalur lalu lintas yang memungkinkan perjalanan). Secara ringkas, kita akan membahas beberapa gagasan dasar ekonomi yang diaplikasikan dalam bidang transportasi.

Samuelson (1976) menguraikan definisi ekonomi sebagai berikut:

Ekonomi adalah ilmu yang mempelajari bagaimana orang dan masyarakat pada akhirnya memilih, dengan atau tanpa menggunakan uang, untuk memanfaatkan sumber-sumber daya produktif langka yang dapat memiliki manfaat-manfaat alternatif guna menghasilkan berbagai komoditas dan mendistribusikannya untuk dikonsumsi, sekarang dan di masa mendatang, oleh perorangan atau kelompok-kelompok di dalam masyarakat. Ekonomi menganalisis keuntungan dan kerugian dari tindakan memperbaiki pola-pola alokasi sumber daya.

Para ahli ekonomi membagi ilmu ekonomi yang luas menjadi dua cabang utama. *Mikro-ekonomi* mempelajari hukum-hukum ekonomi dan pengaruh-pengaruhnya terhadap suatu perusahaan dalam skala kecil. Mikroekonomi mempelajari perilaku ekonomi dari unit-unit individual, seperti konsumen, perusahaan, dan pemilik sumber daya. *Makroekonomi* adalah ilmu, dalam skala nasional dan internasional, yang mempelajari kesejahteraan masyarakat umum. Makroekonomi mempelajari perilaku dari agregat-agregat ekonomi, seperti produk domestik bruto (*gross national product*, *GNP*), dan tingkat ketersediaan lapangan kerja (Mitchell, 1980).

Ekonomi transportasi merupakan salah satu cabang dari mikroekonomi terapan. Akan tetapi, ekonomi transportasi menghadapi sejumlah masalah dan karakteristik yang khas. Hukum-hukum sederhana dalam ekonomi pasar tidak dapat diaplikasikan begitu saja ke dalam ekonomi transportasi. Sebagai contoh, kebutuhan akan transportasi adalah suatu kebutuhan turunan;

karena kebutuhan di sini bukan untuk dirinya sendiri. Selain itu, setiap perjalanan memiliki waktu dan ruangnya sendiri-sendiri. Perbedaan teknologi antara berbagai moda dan skala ekonominya cenderung menimbulkan masalah ketika dikaitkan dengan ekonomi transportasi. Intervensi pemerintah dalam transportasi juga mempersulit penganalisisan berbagai masalah (Stubbs dkk., 1980).

Perencanaan, pendesainan, pembangunan, pengoperasian, dan pemeliharaan fasilitas transportasi bisa menghabiskan biaya ratusan juta dollar per tahun. Meskipun demikian, insinyur, perencana, dan para analis kebijakan yang bertanggung jawab atas dunia transportasi seringkali hanya memiliki sedikit atau bahkan tidak memiliki latar belakang pelatihan atau pendidikan formal di bidang ekonomi (Wohl dan Hendrickson, 1984).

Ekonomi transportasi memiliki ruang lingkup yang sangat luas, sehingga pembaca diharapkan membaca buku-buku standar tentang topik ini serta penerapannya untuk mendapatkan pemahaman yang lebih mendalam. Topik-topik yang dibahas dalam bab ini sudah diseleksi secara ketat dan sengaja diberikan agar para pembaca mendapat semacam pengenalan mengenai bidang studi ini. Anda disarankan untuk membaca buku-buku teks standar mengenai mikro-ekonomi, analisis sistem, dan ekonomi perkotaan yang dimuat pada daftar di akhir bab ini.

Di dalam bab ini juga dibahas konsep-konsep dasar tentang fungsi permintaan dan penawaran yang diperlukan untuk memahami, mendesain, dan mengelola sistem transportasi. Sebagian besar pekerjaan dalam bidang transportasi dipusatkan untuk menentukan dan mengestimasi fungsi kinerja (misalnya, permintaan dan penawaran).

2. PERMINTAAN TRANSPORTASI

Permintaan atas barang dan jasa umumnya sangat bergantung pada pendapatan konsumen dan pada harga dari barang dan jasa tersebut relatif terhadap harga-harga lainnya. Sebagai contoh, permintaan atas perjalanan tergantung pada pendapatan orang yang melakukan perjalanan. Moda perjalanan yang dipilih bergantung pada beberapa faktor, seperti tujuan perjalanan, jarak tempuh perjalanan, dan penghasilan pelaku perjalanan (Stubbs et al., 1980).

Fungsi permintaan atas suatu produk tertentu menunjukkan keinginan konsumen untuk membeli produk tersebut sesuai dengan alternatif harga yang ada. Sebagai contoh, sebuah fungsi permintaan memperlihatkan jumlah penumpang yang bersedia menggunakan kereta api komuter (komuter: orang yang melakukan perjalanan secara teratur dari tempat yang satu ke tempat yang lain, terutama dari rumah ke tempat kerja) dengan tingkat harga yang berbeda-beda dari tempat asal ke tempat tujuan, untuk satu perjalanan tertentu dan untuk satu periode waktu tertentu. Istilah *harga (price)* berarti seluruh pengeluaran yang harus *ditanggung* oleh si pelaku perjalanan untuk satu perjalanan tertentu. Sebagai contoh, harga untuk perjalanan tersebut bisa saja berarti biaya tunai (ongkos kereta api); waktu perjalanan termasuk waktu akses, waktu menunggu, waktu di dalam kendaraan; kenyamanan; keamanan; kemudahan; dan beberapa faktor terlihat dan faktor tak terlihat lainnya. Kebanyakan komponen harga untuk sebuah perjalanan dapat diukur dan dinyatakan dalam satuan moneter. "Harga" ini kadang-kadang disebut *harga rata-rata (generalized price)*.

Gambar 2-1 memperlihatkan sebuah fungsi permintaan linier untuk perjalanan dari sepasang titik asal dan titik tujuan, pada satu periode waktu tertentu, dan untuk satu maksud tertentu. Fungsi permintaan semacam ini sangat berguna untuk memprediksi perjalanan yang dilakukan pada kondisi-kondisi yang sangat beragam. Fungsi permintaan ini mengasumsikan tingkat dan distribusi tertentu untuk pendapatan, populasi, dan karakteristik sosio-ekonomik. Perlu dicatat bahwa fungsi ini adalah suatu kurva permintaan agregat, menampilkan volume perjalanan yang

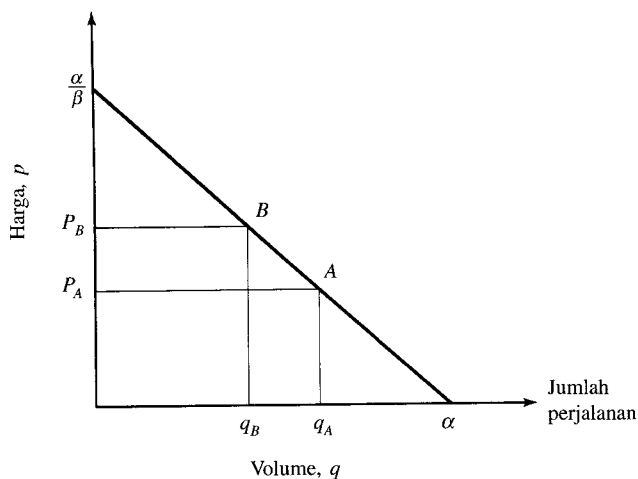
diinginkan pada harga yang berbeda-beda oleh sekelompok pelaku perjalanan. Secara matematis, dapat dinyatakan dengan persamaan:

$$q = \alpha - \beta p \quad (1)$$

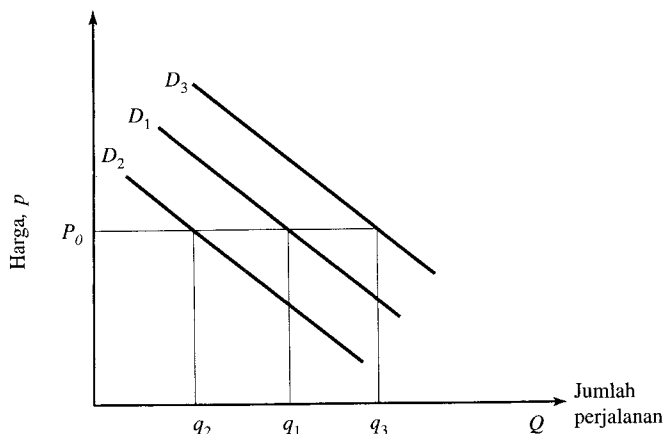
di mana q adalah jumlah permintaan perjalanan, p adalah harga, dan α dan β adalah parameter-parameter permintaan yang konstan. Fungsi permintaan digambar dengan kemiringan negatif yang memperlihatkan satu situasi yang sering kita temukan di mana penurunan harga biasanya akan menghasilkan peningkatan perjalanan, meskipun hal ini tidak selalu benar.

Gambar 2-2 memperlihatkan kurva-kurva permintaan yang telah mengalami pergeseran, menunjukkan perubahan kuantitas perjalanan yang terjadi akibat variabel-variabel lain di luar harga. Biasanya, pada suatu harga p_0 kita dapat memperkirakan bahwa akan ada kuantitas-kuantitas q_1 , q_2 , dan q_3 seiring berubahnya kurva permintaan dari D_1 ke D_2 dan D_3 . Jika kurva bergeser ke atas (dari D_1 ke D_3), ini menunjukkan adanya kenaikan permintaan.

Kita harus mampu membedakan antara perubahan-perubahan jangka-pendek pada kuantitas perjalanan akibat perubahan harga (diperlihatkan oleh pergerakan di sepanjang kurva permintaan pada Gambar 2-1) dengan perubahan-perubahan jangka-panjang akibat aktivitas atau variabel-variabel perilaku, yang diperlihatkan oleh pergeseran-pergeseran fungsi permintaan pada Gambar 2-2.



Gambar 2-1 Fungsi Permintaan Tipikal.



Gambar 2-2 Kurva Permintaan yang telah Bergeser.

3. PERMINTAAN, PENAWARAN, DAN KESEIMBANGAN

Kita telah melihat bahwa fungsi permintaan adalah suatu hubungan antara jumlah permintaan atas suatu barang dengan harga barang tersebut. Dengan alasan yang hampir serupa, fungsi penawaran (atau fungsi pelayanan) merepresentasikan jumlah barang yang ingin ditawarkan oleh produsen pada tingkat harga tertentu—sebagai contoh, tempat duduk di dalam bis memiliki harga tertentu, beberapa ton gandum memiliki harga tertentu. Jika fungsi permintaan dan penawaran akan suatu fasilitas transportasi telah diketahui, maka kita bisa mulai berbicara tentang konsep keseimbangan (*equilibrium*).

Keseimbangan dikatakan tercapai ketika faktor-faktor yang mempengaruhi jumlah permintaan dan juga faktor-faktor yang mempengaruhi jumlah penawaran berada dalam kondisi yang secara statistik sama (atau bertemu di titik keseimbangan). Sebuah contoh sederhana berikut ini mengilustrasikan keseimbangan antara permintaan dan penawaran.

Contoh 1

Sebuah perusahaan penerbangan telah menentukan harga sebuah kursi untuk suatu rute tertentu sebesar $p = 200 + 0,02n$. Permintaan atas rute ini ternyata adalah $n = 5000 - 20p$, di mana p adalah harga dalam dollar, dan n adalah jumlah kursi yang terjual per hari. Tentukanlah harga keseimbangan yang harus ditetapkan dan jumlah kursi yang terjual per hari.

Jawaban

$$\begin{aligned} p &= 200 + 0,02n \\ n &= 5000 - 20p \end{aligned}$$

Kedua persamaan di atas menghasilkan $p = \$214,28$ dan $n = 714$ kursi.

Pembahasan

Logika dari dua persamaan di atas tampak masuk akal. Jika harga tiket pesawat terbang naik, maka permintaan biasanya akan turun. Dengan membuat grafik untuk kedua persamaan di atas kita akan lebih mudah melihat harga keseimbangannya.

Contoh 2

Hasil pengamatan terhadap waktu tempuh pada salah satu ruas jalan raya yang menghubungkan dua pusat kegiatan dapat dinyatakan dengan persamaan yang merepresentasikan fungsi pelayanan

$$t = 15 + 0,02v$$

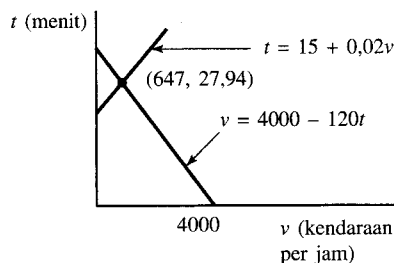
di mana t diukur dalam menit dan v dalam kendaraan per jam. Fungsi permintaan untuk perjalanan yang menghubungkan kedua pusat kegiatan di atas adalah $v = 4000 - 120t$.

- Gambarlah grafik untuk kedua persamaan di atas dan tentukan waktu keseimbangan dan kecepatan perjalanan.
- Jika panjang dari jalan raya tersebut adalah 20 mil, berapakah kecepatan rata-rata kendaraan yang melalui ruas jalan tersebut?

Jawaban (lihat Gambar 2-E2)

$$\begin{aligned} t &= 15 + 0,02v \\ v &= 4000 - 120t \end{aligned}$$

Oleh karena itu,



Gambar 2-E2 Keseimbangan Statis dari Permintaan dan Penawaran.

$$v = 647 \text{ kendaraan/jam}$$

$$t = 27,94 \text{ menit}$$

$$\text{Kecepatan} = (20 \times 60)/27,94 = 42,95 \text{ mil/jam}$$

Pembahasan

Biasanya harga, waktu, atau satuan harga diplot pada sumbu vertikal sedangkan satuan kuantitas diplot pada sumbu horizontal.

4. SENSITIVITAS PERMINTAAN PERJALANAN

Dengan mengetahui bentuk fungsional dari permintaan perjalanan kita dapat meramalkan perubahan-perubahan volume-perjalanan yang diakibatkan oleh perubahan-perubahan harga yang terjadi pada periode waktu yang pendek. Satu frasa yang dapat menjelaskan seberapa jauhnya perubahan sensitivitas terhadap perubahan harga (atau faktor tertentu lainnya) adalah elastisitas permintaan (e_p).

Jika $q = \alpha - \beta p$ (lihat Persamaan 1),

dan e_p = perubahan persentase jumlah permintaan perjalanan yang terjadi akibat terjadinya perubahan harga sebesar 1%

(2)

$$\text{maka } e_p = \frac{\delta q/q}{\delta p/p} = \frac{\delta q}{\delta p} \times \frac{p}{q}$$

di mana δq adalah perubahan jumlah-perjalanan yang menyertai δp , perubahan harga.

$$\text{Elastisitas harga busur} = \frac{\delta q}{\delta p} \frac{p}{q} = \frac{Q_1 - Q_0}{P_1 - P_0} \frac{(P_1 + P_0)/2}{(Q_1 + Q_0)/2} \quad (3)$$

di mana Q_0 dan Q_1 masing-masing adalah jumlah permintaan perjalanan untuk harga P_0 dan P_1 .

Untuk suatu fungsi permintaan yang linier, kita dapat menentukan elastisitas terhadap harga dengan cara mencari turunan dari Persamaan (1):

$$e_p = \frac{\delta q}{\delta p} \frac{p}{q} = \frac{-\beta p}{q} \quad (4)$$

atau, setelah melakukan substitusi atas p , dengan menggunakan persamaan (1)

$$e_p = 1 - \frac{\alpha}{q} \quad (5)$$

Contoh 3

Sebuah fungsi permintaan agregat dinyatakan oleh persamaan:

$$q = 200 - 10p$$

di mana q adalah jumlah perjalanan dan p adalah harga per perjalanan. Tentukan elastisitas harga dari permintaan ketika

$$q = 0, \quad q = 50, \quad q = 100, \quad q = 150, \quad q = 200 \text{ perjalanan}$$

yang berkorespondensi dengan

$$p = 20, \quad p = 15, \quad p = 10, \quad p = 5, \quad p = 0 \text{ sen}$$

Jawaban

$$e_p = 1 - \frac{\alpha}{q} \quad \text{di mana } \alpha = 200 \quad (5)$$

$$e_0 = 1 - \frac{200}{200} = -0$$

$$e_5 = 1 - \frac{200}{150} = -0,133$$

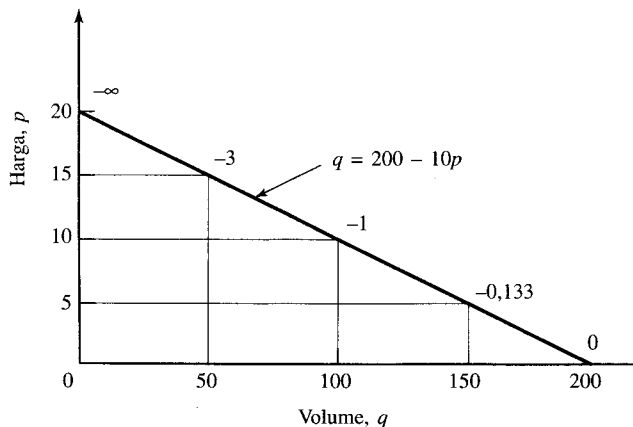
$$e_{10} = 1 - \frac{200}{100} = -1$$

$$e_{15} = 1 - \frac{200}{50} = -3$$

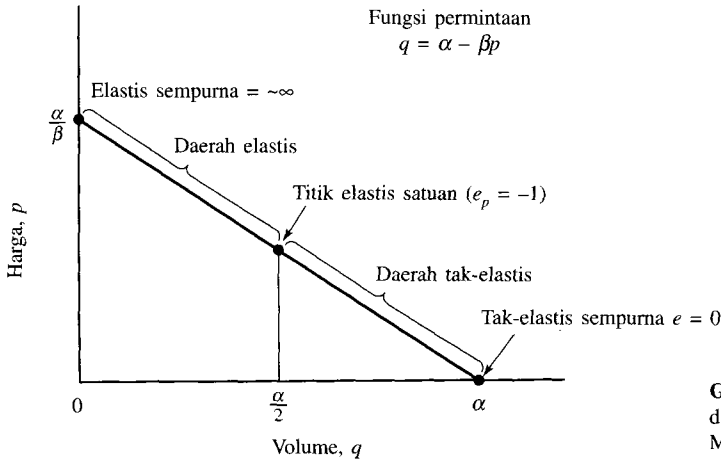
$$e_{20} = 1 - \frac{200}{0} = -\infty$$

Nilai-nilai elastisitas ini diperlihatkan pada Gambar 2-E3(a).

Ketika elastisitas lebih kecil daripada -1 (dengan kata lain, lebih negatif daripada -1), maka permintaan diartikan sebagai permintaan yang elastis, artinya adalah perubahan persentase jumlah perjalanan yang dihasilkan akan lebih besar daripada perubahan persentase harga. Dalam hal ini, permintaan relatif sensitif terhadap perubahan harga. Akan tetapi, ketika elastisitas berada di antara 0 dan -1 , maka permintaan dapat diartikan sebagai permintaan yang tidak elastis atau relatif tidak sensitif. Daerah-daerah elastisitas ini diperlihatkan pada Gambar 2-E3(b).



Gambar 2-E3 (a) Fungsi Permintaan Memperlihatkan Elastisitas pada Berbagai Volume.



Gambar 2-E3 (b) Kasus Umum dari Fungsi Permintaan Linier yang Memperlihatkan Elastisitas.

Pembahasan

Dari gambar 2-E3(a), kita dapat melihat dengan jelas bahwa ketika harga per perjalanan sebesar 20 sen, tidak ada perjalanan yang terjadi. Tetapi ketika gratis, terjadi 200 perjalanan. Perlu dicatat bahwa elastisitas harga dalam sistem transportasi ini bervariasi dari 0 sampai ∞ , dengan elastisitas satuan ketika $p = 10$.

Kurva permintaan linier mempunyai beberapa sifat yang menarik. Perhatikanlah bahwa ke arah bawah dari kurva permintaan, elastisitas harga permintaannya akan menjadi lebih kecil (dengan kata lain, lebih tidak elastis). Pada kenyataannya, elastisitas pada suatu titik tertentu sama dengan panjang dari segmen garis permintaan di bawah titik tersebut dibagi dengan panjang dari segmen garis di atasnya. Hal lain yang patut dicatat adalah bahwa kemiringan garis selalu konstan, tetapi *elastisitas berubah* dari ∞ (di bagian atas grafik, di mana garis permintaan memotong sumbu vertikal) hingga 0 (di bagian bawah grafik, di mana garis permintaan memotong sumbu horizontal). Karena elastisitas berubah di sepanjang kurva permintaan, maka kita harus menentukan pada rentang harga atau jumlah yang mana elastisitas tersebut dihitung.

Contoh 4

Ketika harga tiket masuk ke sebuah taman hiburan sebesar \$5 per kunjungan, rata-rata jumlah kunjungan per orang adalah 20 per tahun. Sejak harga karcis dinaikkan menjadi \$6, permintaan turun menjadi 16 per tahun. Berapakah elastisitas permintaan pada rentang harga ini?

Jawaban

$$\text{Elastisitas harga busur, } e_p = \frac{-\Delta Q}{\Delta P} \frac{(P_1 + P_0)/2}{(Q_1 + Q_0)/2} = \frac{4}{1} \frac{(5,5)}{18} = -1,22 \quad (\text{elastis})$$

Pembahasan

Terdapat sejumlah persoalan yang terkait dengan elastisitas harga busur (*arc price elasticity*) karena elastisitas semacam ini akan berbeda dengan elastisitas titik, yaitu selisihnya akan bertambah ketika ΔP atau ΔQ bertambah.

5. FAKTOR-FAKTOR YANG MEMPENGARUHI ELASTISITAS

5.1 Elastisitas Pendapatan

Elastisitas pendapatan memainkan peranan yang istimewa di dalam teknik transportasi dan dinyatakan dengan

$$e_i = \frac{\% \text{ perubahan jumlah permintaan barang}}{\% \text{ perubahan pendapatan}} \quad (6)$$

Suatu barang dikatakan *normal* apabila permintaan atas barang tersebut meningkat ketika pendapatan konsumen juga meningkat ($e_i > 0$). Kebanyakan barang dapat dikatakan normal. Suatu barang dikatakan *superior* apabila permintaan akan barang tersebut meningkat ketika pendapatan konsumen meningkat dan porsi pengeluaran untuk barang tersebut ikut meningkat ($e_i > 1$). Di sisi lain, suatu barang dikatakan *inferior* jika permintaan akan barang tersebut menurun ketika pendapatan konsumen meningkat. Di Amerika Utara, sebuah mobil dikategorikan sebagai barang yang superior, sedangkan mengeluarkan biaya untuk melakukan perjalanan dengan transportasi umum sering dikategorikan sebagai barang inferior. Makanan mewah adalah barang superior, sementara bir murah adalah barang inferior.

5.2 Elastisitas Harga

Secara umum, konsumen akan membeli barang lebih banyak dari biasanya ketika harganya turun, dan membeli lebih sedikit ketika harganya naik. Beberapa faktor yang mempengaruhi elastisitas harga adalah sebagai berikut:

1. Jika konsumen membelanjakan pendapatannya dengan persentase yang cukup besar, katakanlah untuk transportasi, mereka akan rela berupaya lebih keras untuk mencari pengganti (substitusi) apabila biaya transportasi meningkat.
2. Semakin sempit definisi dari suatu barang, semakin banyak barang pengganti untuk barang tersebut, sehingga permintaan akan barang tersebut menjadi lebih elastis. Sebagai contoh, permintaan atas Toyota lebih elastis dibandingkan dengan permintaan atas mobil, dan permintaan atas mobil lebih elastis dibandingkan dengan permintaan atas transportasi.
3. Jika konsumen mendapati bahwa harga dan ketersediaan barang pengganti tidak sulit, permintaan akan lebih elastis. Iklan memainkan peranan yang penting dalam menyediakan barang pengganti kepada konsumen. Dalam konteks yang sama, semakin banyak waktu yang dimiliki konsumen untuk memperoleh barang pengganti, permintaan akan menjadi semakin elastis.
4. Barang-barang yang digolongkan oleh konsumen sebagai barang yang 'harus dimiliki' biasanya memiliki permintaan yang tidak elastis, sedangkan barang-barang yang dianggap 'mewah' biasanya memiliki permintaan yang elastis. Sebagai contoh, kacamata dipandang oleh seorang konsumen sebagai barang kebutuhan dengan sedikit pengganti, sementara berlibur ke Eropa adalah barang mewah dengan beberapa barang pengganti.

5.3 Elastisitas dan Penerimaan Total

Kita bisa mengetahui berapa penerimaan total (harga $\times$ output) yang mungkin diperoleh suatu perusahaan jika harga satu unit barang berubah. Di sini

$$e = \frac{\% \text{ perubahan jumlah (satuan) permintaan}}{\% \text{ perubahan harga}} \quad (7)$$

- Jika $e > 1$, harga dan penerimaan total memiliki hubungan yang *negatif* (atau permintaan bersifat elastis); maka kenaikan harga akan mengurangi penerimaan total, namun penurunan harga akan menaikkan penerimaan total pendapatan.
- Jika $e < 1$, harga dan penerimaan total memiliki hubungan yang *positif* (atau permintaan bersifat tak-elastis); maka kenaikan harga akan meningkatkan penerimaan total; dan penurunan harga akan menurunkan penerimaan total.
- Jika $e = 1$, penerimaan total tidak berubah, meskipun harga naik atau turun.

Contoh 5

Kurva permintaan linier dari sebuah perusahaan bis adalah $P = 10 - 0,05Q$, di mana P adalah harga tiket, dan Q adalah jumlah tiket yang terjual per jam. Tentukan penerimaan total di sepanjang kurva (Gambar 2-E5).

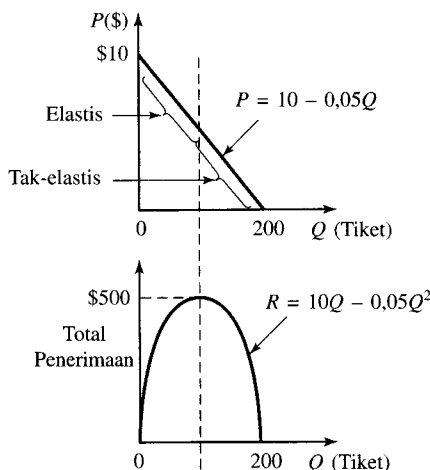
Jawaban

$$\begin{aligned} P &= 10 - 0,05Q \\ R &= Q(10 - 0,05Q) \quad \text{di mana } R = \text{penerimaan total} \\ R &= 10Q - 0,05Q^2 \\ dR/dQ &= 10 - (0,05 \times 2)Q \end{aligned}$$

dan hasil ini akan sama dengan nol ketika R maksimum.
Maka, $Q = 100$ ketika R sama dengan 500 (maksimum).

Pembahasan

Dimulai dari harga sebesar \$10 di dekat nol tiket yang terjual dan menurunkan harga hingga akhirnya mencapai setengahnya (\$5), penerimaan total naik stabil hingga mencapai nilai maksimum sebesar \$500/jam (pada daerah elastis). Setelah itu, penerimaan akan menurun sejalan dengan penurunan harga dan akhirnya mendekati nol ketika permintaan mendekati 200 (pada daerah tak-elastis).



Gambar 2-E5 Kurva Penerimaan Total.

6. MODEL PERMINTAAN KRAFT

Kita kadang-kadang menjumpai suatu fungsi permintaan di mana elastisitas permintaan akan perjalanan terhadap harga pada dasarnya konstan. Fungsi permintaan dalam situasi seperti ini dapat dinyatakan dengan persamaan

$$Q = \alpha(p)^\beta \quad (8)$$

di mana α dan β adalah parameter konstan dari fungsi permintaan. Untuk membuktikan bahwa fungsi tersebut mempunyai elastisitas yang konstan, kita akan mendiferensiasi fungsi ini terhadap harga

$$\frac{dQ}{dP} = \alpha\beta P^{\beta-1}$$

dan mensubstitusikan hasilnya ke dalam persamaan elastisitas standar (Persamaan 2).

$$\begin{aligned} e_p &= \frac{dQ}{dP} \frac{P}{Q} \\ &= \alpha\beta P^{\beta-1} \frac{P}{Q} \\ &= \alpha\beta P^{\beta-1} P Q^{-1} \quad (\text{substitusi } Q \text{ dari Persamaan 8}) \\ &= \beta \end{aligned}$$

Sehingga β , eksponen harga, adalah elastisitas harga.

Contoh 6

Elastisitas permintaan sarana angkutan terhadap tarif diketahui sama dengan $-2,75$, yang berarti bahwa kenaikan tarif sebesar 1% akan menyebabkan turunnya jumlah penumpang sebanyak 2,75 orang. Jalur sarana angkutan dalam sistem ini mengangkut 12.500 penumpang per hari, dengan tarif 50 sen per perjalanan. Perusahaan pengangkutan tersebut bermaksud menaikkan tarif menjadi 70 sen per perjalanan. Saran apakah yang dapat Anda berikan kepada perusahaan tersebut?

Jawaban

$$\begin{aligned} Q &= \alpha P^\beta \quad (8) \\ 12.500 &= \alpha (50)^{-2,75} \\ \alpha &= 12.500 \times 50^{2,75} \\ &= 5,876 \times 10^8 \\ Q &= 5,876 \times 10^8 \times P^{-2,75} \end{aligned}$$

Menaikkan tarif sebesar 50 sampai 70 sen akan berpengaruh terhadap permintaan sebesar

$$Q = 5,876 \times 10^8 \times (70)^{-2,75} = 4955 \text{ penumpang}$$

Sehingga, menaikkan tarif dari 50 menjadi 70 sen (naik 40%) cenderung menurunkan jumlah penumpang dari 12.500 menjadi 4.955 penumpang (penurunan 60,36%). Atau dengan kata lain, dari sisi pendapatan akan menghasilkan:

$$\begin{aligned}
 50 \text{ sen/penumpang} \times 12.500 &= \$6.250 \\
 70 \text{ sen/penumpang} \times 4.955 &= \$3.468,50 \\
 \text{Total kehilangan pendapatan} &= \$3.406
 \end{aligned}$$

Saran kepada perusahaan tersebut adalah jangan menaikkan tarif.

Pembahasan

Secara umum, telah dilakukan perhitungan bahwa ketika harga sedang elastis (misalnya $-2,75$), menaikkan harga akan menghasilkan kerugian, tetapi menurunkan harga justru akan memberikan keuntungan. Hal sebaliknya juga berlaku: jika harga tidak elastis, menaikkan harga akan memberikan keuntungan, sementara menurunkan harga akan menghasilkan kerugian. Mahasiswa akan menjadi lebih memahami kasus ini dengan membuat grafik guna memperjelas mengapa hal ini bisa dapat terjadi.

Contoh 7

Fungsi permintaan atas transportasi dari daerah pinggiran ke pusat kota di sebuah kota besar dinyatakan dalam persamaan sebagai berikut:

$$Q = T^{-0,3} C^{-0,2} A^{0,1} I^{-0,25}$$

di mana

Q = jumlah perjalanan

T = waktu perjalanan (jam)

C = harga tiket (dollar)

A = biaya perjalanan dengan mobil (dollar)

I = pendapatan rata-rata (dollar)

- Saat ini terdapat 10.000 penumpang per jam yang menggunakan sistem transportasi ini, pada tingkat harga \$1 per perjalanan. Apakah yang akan terjadi jika harga diturunkan menjadi 90 sen per tiket? Berapakah keuntungan yang akan diperoleh perusahaan pengangkutan per jam?
- Dengan mobil, biaya perjalanan adalah \$3 (termasuk parkir). Jika ongkos parkir dinaikkan 30 sen, bagaimanakah hal ini akan mempengaruhi penumpang sistem transportasi tersebut?
- Rata-rata pendapatan dari pengemudi mobil adalah \$15.000 per tahun. Berapakah kenaikan pendapatan yang dibutuhkan oleh pengemudi mobil untuk dapat memenuhi biaya akibat kenaikan harga parkir seperti yang terjadi pada butir (b)?

Jawaban

- Ini pada dasarnya adalah model Kraft. Elastisitas harga permintaan atas perjalanan sistem transit ini adalah

$$\frac{\delta Q/Q}{\delta C/C} = -0,2$$

Ini artinya bahwa penurunan harga tiket sebesar 1% akan menaikkan jumlah penumpang sebesar 0,2%. Karena dalam kasus ini penurunan harga tiket adalah $(100 - 90)/100 = 10\%$, maka kita dapat mengharapkan peningkatan penumpang sebesar 2%. Jumlah penumpang sekarang menjadi $10.000 + (10.000 \times 0,2) = 10.200$.

10.000 penumpang pada tingkat harga \$1/perjalanan = 10.000

10.200 penumpang pada tingkat harga \$0,9/perjalanan = 9180

Perusahaan akan kehilangan \$820 per jam.

- (b) Elastisitas silang harga mobil atas permintaan adalah 0,1, atau

$$\frac{\delta Q/Q}{\delta A/A} = 0,1$$

yang berarti bahwa kenaikan ongkos mobil sebesar 1% (termasuk parkir) akan menaikkan jumlah perjalanan sebesar 0,1%. Peningkatan \$0,3 adalah 10% dari \$3. Dengan demikian, peningkatan 10% dalam biaya mobil akan menaikkan penumpang sebesar 1%, yaitu dari 10.000 menjadi 10.100 penumpang.

- (c) Sebelumnya, kita harus melihat elastisitas pendapatan terlebih dahulu:

$$\frac{\delta Q/Q}{\delta I/I} = -0,25$$

yang berarti bahwa peningkatan pendapatan sebesar 1% akan mengakibatkan penurunan penumpang sebesar 0,25%, atau $\delta Q/Q = 1\%$ dari butir (b). Sehingga,

$$\frac{1\%}{\delta I/I} = -0,25$$

dan

$$\frac{\delta I}{I} = \frac{1\%}{-0,25} = 0,04 = 4\%$$

Sehingga peningkatan pendapatan sebesar 4% akan menutup peningkatan sebesar 30 sen (atau peningkatan 10%) atas ongkos mobil. Jika rata-rata pendapatan adalah \$15.000, peningkatan pendapatan sebesar \$ 600 akan mengubah keputusan pengguna mobil yang sebelumnya berencana menggunakan sistem transportasi ini.

7. ELASTISITAS LANGSUNG DAN ELASTISITAS SILANG

Dampak perubahan harga barang terhadap permintaan atas barang yang *sama* disebut elastisitas *langsung*. Sedangkan tingkat respons dari permintaan atas barang terhadap harga barang lainnya disebut elastisitas *silang*.

Ketika konsumen membeli barang *A* lebih banyak akibat harga barang *B* naik, kita mengatakan bahwa barang *A* adalah pengganti dari barang *B* (dan barang *B* adalah pengganti barang *A*). Sebagai contoh, ketika harga bahan bakar naik, konsumen cenderung untuk beralih ke kendaraan umum. Di lain pihak, ketika konsumen membeli barang *A* lebih sedikit saat harga barang *B* naik, kita mengatakan bahwa barang *A* adalah pelengkap (*complement*) dari barang *B*. Secara umum, barang-barang pelengkap adalah barang yang digunakan secara bersama-sama. Sebagai contoh, ketika harga parkir di pusat kota naik, jumlah kendaraan ke pusat kota akan menurun (dan permintaan atas perjalanan yang sama menggunakan sistem transit atau taksi akan meningkat).

Suatu barang disebut sebagai pengganti apabila elastisitas silangnya positif, dan barang disebut pelengkap apabila elastisitas silang atas permintaannya negatif.

Contoh 8

Kenaikan harga bahan bakar sebesar 15% mengakibatkan kenaikan penumpang bis sebesar 7% dan penurunan konsumsi bahan bakar sebesar 9%. Hitunglah dampak elastisitas langsung dan elastisitas silang atas permintaan.

Jawaban

Misalkan

P_0 = harga bahan bakar sebelum kenaikan

P_1 = harga bahan bakar setelah kenaikan

Q_0 = jumlah konsumsi bahan bakar sebelum kenaikan

Q_1 = jumlah konsumsi bahan bakar setelah kenaikan

Maka untuk *elastisitas langsung*:

$$Q_0 \text{ (bb)} \times 0,91 = Q_1 \text{ (bb)}$$

$$P_0 \text{ (bb)} \times 1,15 = P_1 \text{ (bb)}$$

$$e = (\Delta Q/Q)/(\Delta P/P) = [-0,09/(1 + 0,91)]/[0,15/(1 + 1,15)] = -0,675$$

Dan,

B_0 = jumlah penumpang bis sebelum kenaikan

B_1 = jumlah penumpang bis setelah kenaikan

Maka untuk *elastisitas silang*:

$$B_0 \text{ (bis)} \times 1,07 = B_1 \text{ (bis)}$$

$$P_0 \text{ (bb)} \times 1,15 = P_1 \text{ (bb)}$$

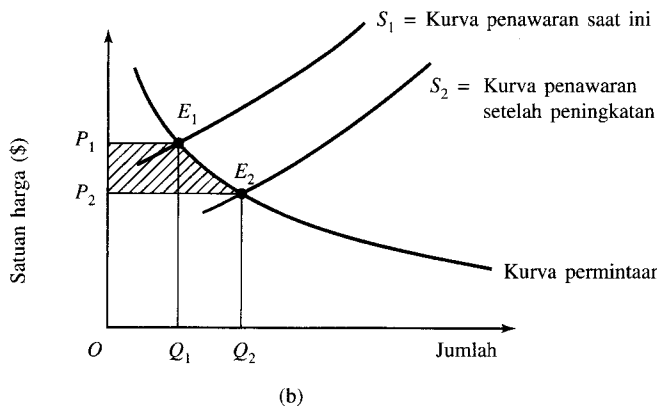
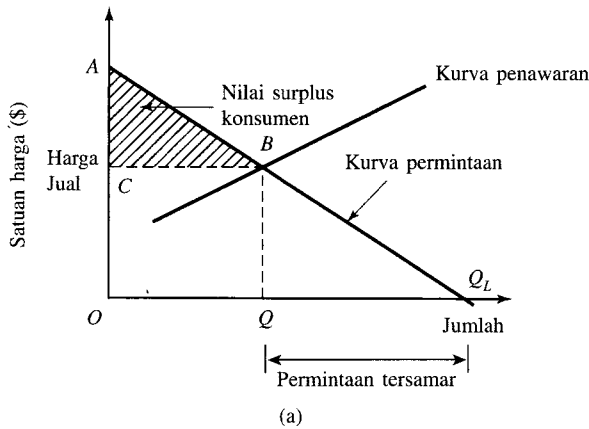
$$e = (\Delta B/B)/(\Delta P/P) = [0,07/(1 + 1,07)]/[0,15/(1 + 1,15)] = +0,48$$

8. NILAI SURPLUS KONSUMEN

Nilai surplus konsumen (consumer surplus) adalah ukuran untuk nilai moneter yang menjadi tersedia bagi konsumen karena adanya suatu fasilitas. Hal ini didefinisikan sebagai selisih antara biaya yang mungkin rela dikeluarkan konsumen untuk sebuah pelayanan dengan biaya yang sebenarnya. Seorang pelanggan bis membayar tiket sebesar 50 sen per perjalanan tetapi dia masih mau membayar hingga 75 sen per perjalanan, yang berarti pelanggan tersebut surplus 25 sen.

Kurva permintaan dapat dilihat sebagai sebuah indikator kegunaan pelayanan dari sisi harga. Konsep nilai surplus konsumen diperlihatkan pada Gambar 2-3(a). Daerah *ABC* (daerah yang diarsir) merepresentasikan total nilai surplus konsumen. Memaksimalkan nilai surplus konsumen pada dasarnya adalah memaksimalkan kegunaan ekonomi dari konsumen. Dalam evaluasi suatu proyek, konsep ini biasa digunakan, khususnya dalam sistem-sistem transit.

Secara umum, suatu kemajuan transportasi dapat diukur dari sisi perubahan nilai surplus konsumen. Gambar 2-3(b) memperlihatkan kasus di mana sebuah jalan memiliki nilai kurva penawaran lalu lintas S_1 , memotong kurva permintaan di titik E_1 . Penambahan sebuah lajur telah dilakukan, menggeser kurva penawaran ke S_2 sehingga memotong kurva permintaan di titik E_2 . Perubahan nilai surplus konsumen dapat diketahui dengan menghitung luas trapesium $P_1 P_2 E_2 E_1$, atau $(P_1 - P_2)(Q_1 + Q_2)/2$. Nilai surplus konsumen biasanya didefinisikan sebagai



Gambar 2-3 (a) Konsep Nilai Surplus Konsumen; (b) Perubahan Nilai Surplus Konsumen.

selisih antara jumlah maksimum yang masih rela dibayar oleh konsumen untuk sejumlah tertentu barang ketimbang tidak mendapatkannya sama sekali. Secara umum, $AOQB$ sama dengan total keuntungan komunitas, $BCOQ$ sama dengan nilai pasar, dan ACB sama dengan nilai surplus konsumen atau keuntungan bersih komunitas.

Gambar 2-3(a) mengilustrasikan satu konsep tambahan yang berguna bagi para insinyur transportasi, yaitu *permintaan tersamar* (*latent demand*). Perhatikanlah bahwa pelaku perjalanan antara Q dan titik perpotongan dari fungsi permintaan dan sumbu absis sekarang ini tidak melakukan perjalanan, tetapi akan melakukannya jika harga per perjalanan lebih rendah dari harga keseimbangan. Jumlah pelaku perjalanan potensial seperti ini dikenal dengan nama permintaan tersamar. Konsep ini dapat digunakan dalam beberapa cara; misalnya, seorang operator transit yang bermaksud meningkatkan jumlah penumpang dengan memberikan potongan harga di luar jam sibuk mungkin saja ingin meneliti permintaan tersamar. Dalam hal ini, jumlah perjalanan yang diminta—jika harga perjalanan adalah nol (transit gratis)—adalah $Q_L - Q$, seperti terlihat pada Gambar 2-3(a).

Contoh 9

Sebuah perusahaan bis yang memiliki armada 100 bis 40-kursi meningkatkan armadanya sebesar 20% dan menurunkan harga tiket dari \$1 menjadi 90 sen per perjalanan. Hitunglah perubahan nilai surplus konsumen dan elastisitas harga permintaan. Asumsikan bahwa bis-

bis yang ada mempunyai faktor muat (*load factor*) 90% dan diperkirakan peningkatan armada ini akan meningkatkan faktor muatnya menjadi 95%. Apakah perusahaan ini akan mengalami kerugian? Asumsikan pula bahwa seluruh armada bis terpakai selama jam sibuk. (*Catatan*: Faktor muat kendaraan adalah ukuran ketersediaan kursi, dan faktor muat 1,0 artinya seluruh kursi terisi penumpang.)

Jawaban

Dengan situasi saat ini:

$$100 \text{ bis} \times 40 \text{ kursi} \times 0,90 \text{ (faktor muat)} = 3600 \text{ penumpang/jam}$$

$$\text{Penerimaan: } 3600 \times \$1,00 = \$3600/\text{jam}$$

Dengan layanan yang ditingkatkan:

$$120 \text{ bis} \times 40 \text{ kursi} \times 0,95 = 4560 \text{ penumpang/jam}$$

$$\text{Penerimaan: } 4.560 \times \$0,90 = \$4104/\text{jam}$$

Perusahaan ini mendapat keuntungan $\$4104 - \$3600 = \$504/\text{jam}$.

$$\begin{aligned} \text{Perubahan nilai surplus konsumen} &= \frac{(1,00 - 0,90) (3600 + 4560)}{2} \\ &= \$408/\text{jam} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Elastisitas harga permintaan} &= \frac{Q_1 - Q_0}{P_1 - P_0} \frac{(P_1 + P_0)/2}{(Q_1 + Q_0)/2} \\ &= - \frac{960}{0,10} \left(\frac{0,95}{4080} \right) = -2,235 \end{aligned}$$

Pembahasan

Ini adalah satu kasus yang menarik. Sekalipun jumlah bisnya tidak ditambah dan harga diturunkan seperti pada situasi di atas, yang menghasilkan peningkatan faktor muat, akan terjadi peningkatan total pendapatan sebesar \$200 karena elastisitas harganya bersifat elastis (-2,235). Dengan sendirinya, semakin banyak bis yang dikerahkan, situasinya akan menjadi semakin baik. Nilai surplus konsumen adalah cara yang baik untuk melakukan perbandingan antara dua alternatif.

Contoh 10

Bob bermaksud melakukan kunjungan keluarga rutin dengan menggunakan bis, dan ia bersedia membayar \$10 untuk kunjungan sebulan sekali, \$8 untuk dua kali sebulan, dan \$6 untuk tiga kali sebulan. (a) Jika harga tiket bis adalah \$7, berapakah nilai surplus konsumen Bob? (b) Jika perusahaan bis menawarkan tiga tiket per bulan dengan harga *flat* \$19, apakah Bob akan menerima penawaran ini? (c) Berapakah harga maksimum yang harus dapat ditawarkan perusahaan bis kepada Bob agar ia mau mengambil penawaran tiga tiket tersebut?

Jawaban

- (a) Nilai surplus konsumen dari Bob adalah \$4. (Untuk perjalanan pertama, nilai surplus konsumen Bob adalah $\$10 - \$7 = \$3$ dan untuk yang kedua adalah \$1, sehingga berjumlah \$4. Bob tidak akan melakukan perjalanan ketiga.)

- (b) Ya, karena untuk tiga tiket, nilai surplus konsumennya adalah $(\$10 + 8 + 6 = 24 - 19 = \$5)$, ini lebih baik daripada membeli tiket satu persatu.)
- (c) Yang terbaik, Bob akan membayar \$20 untuk penawaran tiga tiket tersebut, yang merupakan jumlah yang sama dengan nilai surplus konsumen (\$4) sebagaimana pilihan untuk membeli tiket secara terpisah $(\$24 - \$20 = \$4)$.

Pembahasan

Perhatikan bahwa perusahaan bis mendapatkan keuntungan lebih dari Bob dengan penawaran paket. Perhatikan pula bahwa dalam hal ini kita menghitung nilai surplus konsumen individual, dan bukan nilai surplus konsumen total seperti pada Contoh 9.

9. BIAYA

Pengetahuan mengenai biaya-biaya atau nilai dari suatu produk atau pelayanan merupakan hal yang sangat penting. Untuk menetapkan biaya sebenarnya dari suatu produk, seorang analis harus menentukan, misalnya, ke mana jalur distribusinya, siapa yang membayar transportasi, dan siapa yang membayar asuransi dan penyimpanan.

Sebelum mendapatkan biaya rata-rata, akan lebih mudah jika kita bagi biaya-biaya menjadi biaya tetap, biaya tidak tetap, dan biaya total. Biaya tetap adalah biaya yang harus dikeluarkan dan tidak tergantung jumlah produksi. Jika sebuah pabrik menghasilkan 500 truk per hari dan pabrik tersebut mengeluarkan biaya \$1 juta untuk beroperasi, artinya meskipun yang diproduksi 1 buah truk atau 100 truk, biayanya tetap \$1 juta. Biaya tetap untuk satu truk yang diproduksi akan semakin berkurang jika truk yang diproduksi semakin banyak, meskipun total biaya tetapnya tidak berubah. Biaya tidak tetap, di sisi lain, akan meningkat dengan output atau bertambahnya produksi. Sebagai contoh, jika biaya tenaga kerja untuk merakit sebuah truk adalah \$1.000, maka biaya tenaga kerja untuk merakit dua truk bisa menjadi \$1.900. Biaya total produksi merupakan penjumlahan biaya tetap dan biaya tidak tetap, dan akan bertambah seiring bertambahnya produksi. Untuk tingkat produksi tertentu, biaya rata-rata dari satu unit truk dapat diperoleh dengan membagi total biaya dengan jumlah unit yang diproduksi.

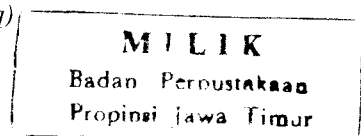
9.1 Hukum-hukum yang Berhubungan dengan Biaya

Dua konsep yang berhubungan dengan biaya merupakan hal yang penting dalam transportasi. Pertama, *hukum pengurangan pengembalian* (*law of diminishing returns*), menyatakan bahwa meskipun peningkatan input dari satu faktor produksi akan menyebabkan peningkatan output, namun pada akhirnya akan dicapai suatu titik di mana di atas titik ini peningkatan input akan mengurangi output. Hukum kedua, *hukum peningkatan pengembalian berskala* (*law of increasing returns to scale*), menyatakan bahwa dalam praktiknya, jumlah unit produksi sering kali meningkat lebih cepat daripada faktor-faktor produksi. Fenomena tersebut bisa terjadi karena berbagai faktor, seperti faktor teknologi atau dampak dari spesialisasi.

9.2 Biaya Rata-rata

Persamaan matematis yang menghubungkan biaya total (C) suatu produk dengan biaya satuan (c) dan banyaknya output (q) dapat ditulis sebagai

$$C = cq = \alpha + \beta(q)$$



di mana parameter α adalah biaya tetap produksi, dan fungsi $\beta(q)$ adalah biaya tidak tetap produksi.

Biaya rata-rata ($\bar{c}$) untuk tiap produk sama dengan

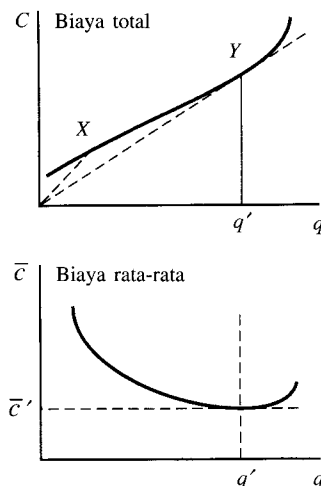
$$\bar{c} = \frac{C}{q} = \frac{cq}{q} = \frac{\alpha + \beta(q)}{q} = \frac{\alpha}{q} + \frac{\beta(q)}{q} \quad (9)$$

Hubungan antara fungsi biaya rata-rata dan fungsi biaya total ditunjukkan dalam Gambar 2-4. Perhatikan bahwa dalam kasus ini, ketika output q' meningkat, maka biaya rata-rata produksi menurun, dan kemudian meningkat pada tingkat produksi yang lebih tinggi. Ketika tingkat produksi mencapai q' , biaya rata-rata $\bar{c}$ merupakan nilai minimum. *Ukuran keekonomian* (*economy of scale*) didefinisikan sebagai penurunan biaya rata-rata ketika output meningkat. Terdapat ukuran keekonomian untuk berbagai tingkat produksi di antara 0 dan q' ; di luar q' tidak ada lagi ukuran keekonomian, karena biaya rata-rata meningkat. Konsep ini bermanfaat bagi para insinyur dalam memutuskan kapan kapasitas tambahan (atau produksi) atau pertumbuhan akan menghasilkan keuntungan yang lebih besar.

9.3 Biaya Marginal

Biaya marginal dari suatu produk adalah biaya tambahan yang terkait dengan pembuatan satu unit output tambahan. Konsep ini sangat penting di dalam teknik transportasi. Sebuah contoh akan memperjelas istilah ini. Biaya untuk mengoperasikan sistem perkeretaapian dengan sejumlah gerbongnya diberikan pada Tabel 2-1. Dari tabel biaya ini, seluruh biaya-biaya lainnya dapat dihitung. Kolom (5) diperoleh dengan membagi biaya total pada kolom (4) dengan jumlah gerbong per kereta api pada kolom (1). Biaya marginal diperoleh dari pengurangan dengan baris sebelumnya pada kolom biaya total (Morlock, 1978).

Angka-angka pada kolom (1) sampai (4) dari Tabel 2-1 diplot pada Gambar 2-5(a). Dengan cara yang sama, angka-angka pada kolom (5) dan (6) diplot pada Gambar 2-5(b). Perhatikan bahwa biaya minimum (\$40) terjadi pada titik perpotongan antara kurva biaya rata-rata (AC) dan kurva biaya marginal (MC). Selain itu, proyeksi titik ini ke Gambar 2-5(a) menghubungkan-



Gambar 2-4 Biaya Total dan Biaya Rata-rata.

Tabel 2-1 Biaya-biaya yang terkait dengan Gerbong per Kereta Api

(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
Jumlah Gerbong/ Kereta Api	Biaya Tetap, <i>FC</i>	Biaya Tidak Tetap, <i>VC</i>	Biaya Total, <i>TC</i>	Biaya Rata- rata, <i>AC</i>	Biaya Marginal/ Unit, <i>MC</i>
1	55	30	85	85,0	
2	55	55	110	55,0	25
3	55	75	130	43,3	20
4	55	105	160	40,0	30
5	55	155	210	42,0	50
6	55	225	280	46,7	70
7	55	315	370	52,9	90
8	55	425	480	60,0	110
9	55	555	610	67,8	130
10	55	705	760	76,0	150

kan ke suatu titik di mana gradien/kemiringan garis singgung yang digambar dari titik asalnya memiliki kemiringan minimum.

Secara umum, kita dapat merangkum tentang apa yang telah diberikan pada contoh di atas:

$$\text{Biaya total} = TC(x) = FC + VC(x) \quad (10)$$

$$\text{Biaya rata-rata} = AC(x) = \frac{TC(x)}{x} = \frac{FC}{x} + \frac{VC(x)}{x} \quad (11)$$

$$\text{Biaya marginal} = MC(x) = TC(x) - TC(x - 1) \quad (12)$$

di mana

TC = biaya total

FC = biaya tetap

VC = biaya tidak tetap

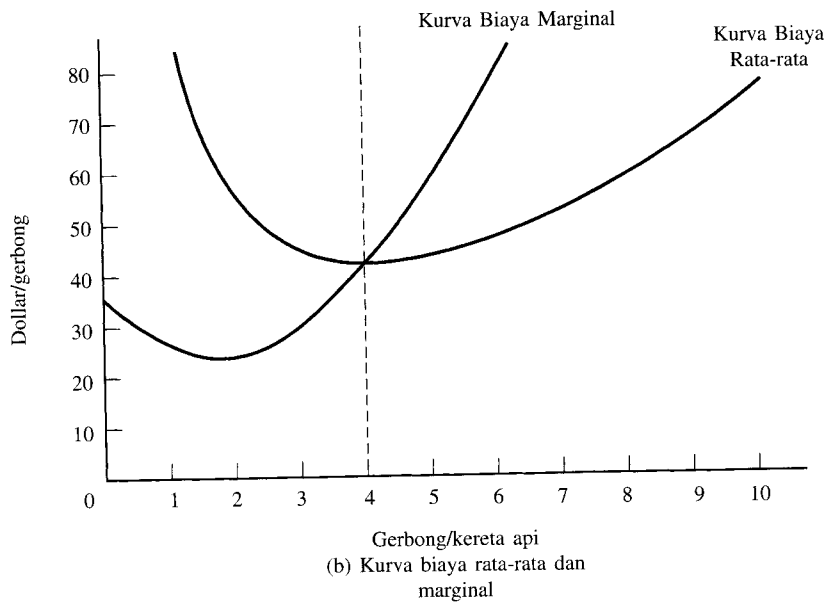
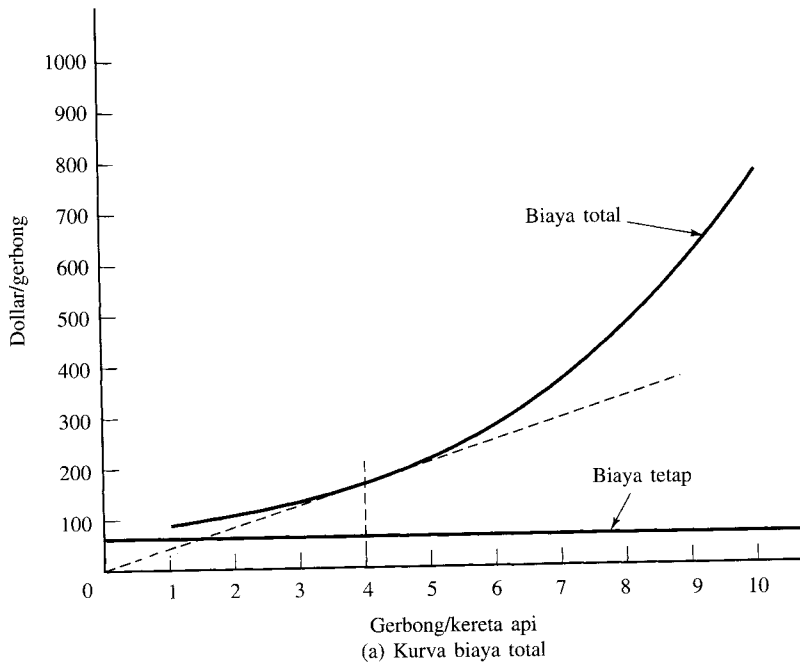
MC = biaya marginal

AC = biaya rata-rata

Ketika output merupakan suatu fungsi kontinu, kita menggunakan bentuk diferensial dari biaya marginal, di mana dalam hal ini biaya marginal adalah tingkat perubahan biaya total terhadap perubahan output. Dalam bentuk ini, persamaannya adalah:

$$MC(x) = \frac{dTC(x)}{dx} = \frac{dVC(x)}{dx} \quad (13)$$

Dari bentuk geometris kurva *AC* dan kurva *MC*, dapat diketahui pula bahwa biaya rata-rata berbanding lurus dengan kemiringan garis yang menghubungkan titik asal kurva biaya total dengan suatu titik pada kurva tersebut yang berhubungan dengan total output. Dalam contoh di atas, kemiringan garis dimulai pada nilai tak hingga di nol dan kemudian menurun ke titik terendah, ketika $x = 4$. Setelah titik $x = 4$ ini, kemiringan bergerak naik kembali. Di sisi lain, kurva biaya marginal adalah kemiringan garis singgung yang digambar pada sebarang titik pada kurva biaya total.



Gambar 2-5 Biaya Total, Biaya Rata-rata, dan Biaya Marginal.

9.3.1 Biaya dan Produksi Secara umum, suatu perusahaan swasta akan melanjutkan produksi dan memasarkan suatu produk atau barang selama menghasilkan keuntungan. Keuntungan bersih (P) sama dengan pendapatan total (R) dikurang biaya total (C):

$$P = R - C = pq - cq$$

di mana p adalah harga penjualan dari satu unit produk q , dan c adalah biaya produksi dari satu unit produk.

Untuk memaksimalkan keuntungan bersih suatu perusahaan, syarat yang harus dipenuhi adalah

$$\frac{dP}{dq} = \frac{dR}{dq} - \frac{dC}{dq} = 0$$

atau

$$\frac{dP}{dq} = \frac{d(pq)}{dq} - \frac{d(cq)}{dq} = 0$$

Sehingga,

$$\frac{d(pq)}{dq} = \frac{d(cq)}{dq}$$

Misalkan

$$MR = \text{pendapatan marginal} = dR/dq = d(pq)/dq$$

$$MC = \text{biaya marginal} = dC/dq = d(cq)/dq$$

Jadi,

$$MR = MC \quad (14)$$

Persamaan ini menyatakan bahwa untuk mencapai target untuk memaksimalkan keuntungan, perusahaan harus melakukan produksi pada satu kondisi di mana pendapatan marginal sama dengan biaya marginal.

Contoh 11

Sebuah perusahaan transportasi truk pengangkutan barang mempunyai fungsi biaya $C = 15q^{1,25}$, di mana C adalah biaya total dari suplai q .

- Tentukan biaya rata-rata dan biaya marginal.
- Buktikan bahwa elastisitas biayanya adalah 1,25.
- Apakah terdapat ukuran keekonomian?

Jawaban

$$(a) \quad \bar{c} = \frac{C}{q} = \frac{15q^{1,25}}{q} = 15q^{0,25} \quad \text{yang merupakan biaya rata-rata}$$

$$MC = dC/dq = (15 \times 1,25)q^{0,25} = 18,75q^{0,25}$$

$$(b) \quad e = MC/AC = 18,75q^{0,25}/15q^{0,25} = 1,25 \quad (\text{lihat Persamaan 15 di bawah})$$

- Tidak terdapat ukuran keekonomian karena biaya rata-rata meningkat seiring dengan peningkatan q .

9.3.2 Elastisitas Biaya Elastisitas biaya e_c didefinisikan sebagai rasio antara persentase perubahan biaya dengan persentase perubahan suplai q .

$$e_c = \frac{\% \Delta \text{ biaya}}{\% \Delta \text{ suplai}} = \frac{(\Delta C/C)100}{(\Delta q/q)100} = \frac{q}{c} \frac{\Delta C}{\Delta q}$$

Dalam limit ketika $\Delta q = 0$, $e = (q/C)(dC/dq)$. Dengan menyusun suku-sukunya.

$$e = \frac{dC/dq}{C/q} = \frac{MC}{AC} \quad (15)$$

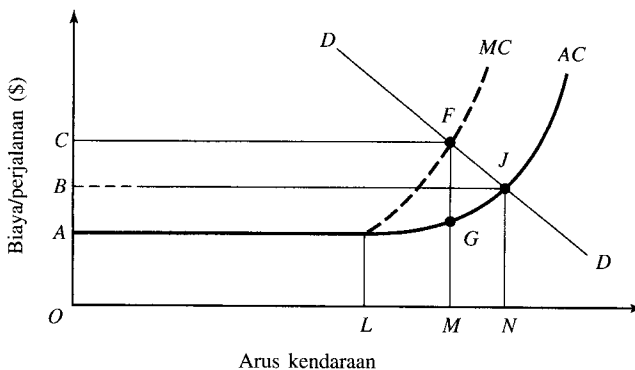
10. KEBIJAKAN HARGA DAN SUBSIDI

Salah satu masalah yang paling sulit diatasi di dalam bidang transportasi perkotaan adalah masalah kemacetan (*congestion*) kendaraan bermotor di kota-kota besar. Kepadatan menciptakan biaya sosial yang tinggi, biaya operasional yang tinggi, hilangnya waktu yang berharga, tingginya angka kecelakaan lalu lintas, polusi udara, ketidaknyamanan bagi pejalan kaki dan, masalah kebisingan. Biasanya, pilihan-pilihan yang ada dalam menghadapi problematika di atas adalah: tidak berbuat apa-apa, menambah lajur jalan baru, atau pembatasan penggunaan jalan tertentu di daerah pusat bisnis. Telah terbukti melalui pengalaman yang panjang bahwa dua pilihan yang pertama di atas menghasilkan kemacetan yang lebih parah dan ini berarti inefisiensi yang semakin parah.

Pilihan yang ketiga menawarkan peluang untuk memecahkan masalah melalui relokasi sumber daya. Dengan pilihan ini, kita dapat mempertimbangkan tiga pilihan yang lebih luas, yaitu (dalam skala prioritas rendah ke tinggi): penetapan pajak atas daerah suburban dan daerah yang tersebar; subsidi atas transportasi publik; dan penerapan berbagai metode peningkatan biaya pemilik kendaraan, termasuk penetapan biaya atas jalan dan tarif perparkiran.

Salah satu cara terbaik untuk mengendalikan kemacetan adalah melalui suatu metode perpajakan atas pemilik kendaraan. Sejak lama telah disepakati bahwa penerapan elemen pembiayaan marginal bisa menjadi alternatif jawaban atas masalah kemacetan.

Pada kebanyakan situasi, adalah hal yang wajar untuk menyatakan harga perjalanan singkat yang dibayar oleh pemilik kendaraan sebagai fungsi biaya rata-rata, sebagaimana diperlihatkan pada Gambar 2-6 dan diindikasikan oleh kurva AC. Pada gambar juga diperlihatkan kurva



Gambar 2-6 Penetapan Harga atas Kepadatan.

biaya marginal MC . DD adalah kurva permintaan. Pada arus lalu lintas sampai ke OL per jam, biaya per perjalanannya adalah OA , yang terdiri dari waktu dan biaya operasional. Di luar arus tersebut, kecepatan kendaraan akan menurun, sehingga biaya pengguna rata-rata per perjalanan meningkat. Tanpa adanya gangguan lebih jauh, arus akan seimbang pada ON kendaraan per jam dengan biaya sebesar OB .

Pada kondisi arus lalu lintas di luar OL kendaraan per jam, tiap penambahan kendaraan akan memperlambat seluruh arus lalu lintas dan menaikkan biaya operasional seluruh kendaraan di dalam aliran arus tersebut. Sesuai dengan prinsip penetapan harga, harga harus sama dengan biaya marginal, guna memberikan arus sebesar OM kendaraan. Hal ini dapat dicapai dengan menetapkan pajak GF , sehingga menaikkan kurva biaya rata-rata untuk mencapai arus lalu lintas yang optimal. Keuntungan penerapan konsep ini adalah pengurangan biaya operasional dari seluruh kendaraan, dan kehilangan yang terjadi adalah kehilangan keuntungan dari perjalanan MN yang tidak dapat dilakukan. Kebijakan penetapan harga marginal ini dapat menghasilkan penggunaan yang paling efisien dari sistem.

Contoh

Kantor administrasi jalan raya Federal A.S. telah menetapkan hubungan antara waktu perjalanan di suatu bagian jalan raya dan volume [kendaraan per jam (kendaraan/jam)] menggunakan panjang jalan raya ini sepanjang 10 mil:

$$t = 10 \left[1 + 0,15 \left(\frac{V}{200} \right)^4 \right]$$

di mana t adalah waktu perjalanan untuk kendaraan yang melintas di bagian jalan ini, dan V adalah volume lalu lintas di bagian jalan ini (kendaraan/jam). Fungsi permintaan untuk jalan raya ini adalah

$$d = 4000 - 100t$$

di mana d adalah permintaan (kendaraan/jam), dan t adalah waktu (menit). Jika nilai waktu menurut pengguna jalan raya adalah \$5 per kendaraan per jam, berapakah tingkat kemacetan jalan raya tersebut?

Jawaban

Waktu yang digunakan oleh seluruh kendaraan yang melintas di bagian jalan ini adalah

$$\begin{aligned} tV &= 10 \left[1 + 0,15 \left(\frac{V}{2000} \right)^4 \right] V \\ &= 10 \left[V + \frac{0,15V^5}{(2000)^4} \right] \end{aligned}$$

dan

$$\text{Waktu marginal} = \frac{d(tV)}{dV} = 10 \left(1 + \frac{0,75V^4}{2000^4} \right)$$

Volume (kendaraan/jam)	Waktu (menit)	Permintaan $d = 4000 - 100t$	Kecepatan (mph)	Waktu marginal (men)
1000	10,09	2991	59,46	10,5
1500	10,47	2953	57,31	12,4
2000	11,50	2850	52,17	17,5
2500	13,66	2634	43,92	28,3
3000	27,59	1241	21,75	48,0

$$\text{Biaya tol} = 19,12 - 11,82 = 7,30 \text{ menit}$$

$$= 7,30 \times \frac{\$5}{60} = \$0,61$$

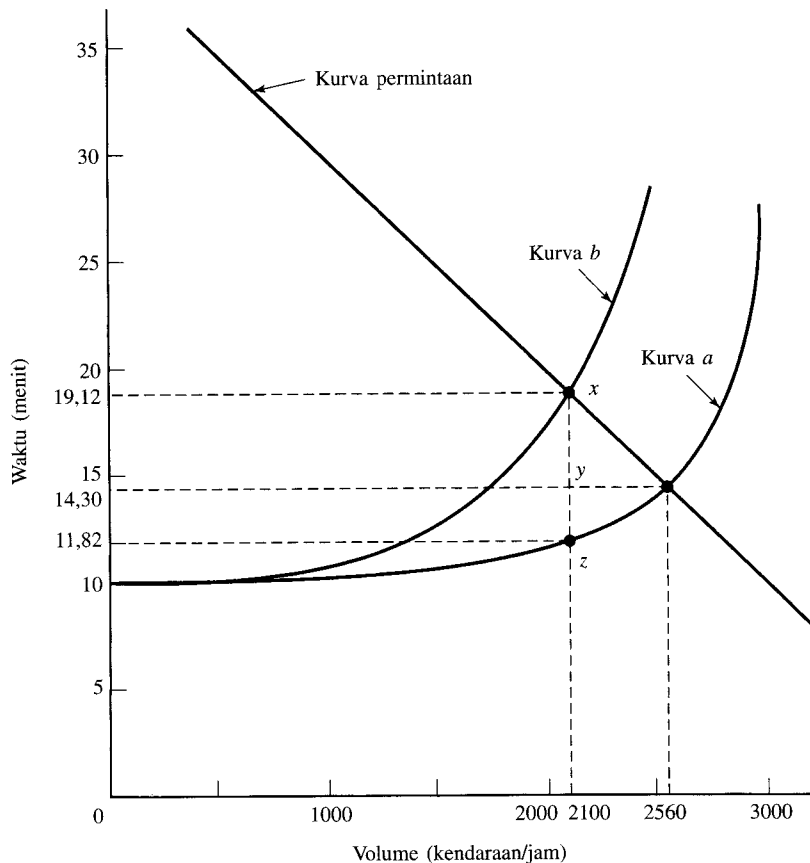
Panjang jalan = 10 mil

Biaya tol/mil = 6,1 sen

Arus optimum = 2.100 kendaraan/jam

Pembahasan

Gambar 2-E12 memperlihatkan waktu perorangan (kurva *a*), waktu marginal (kurva *b*), dan kurva permintaan. Kurva *a* merepresentasikan arus jalan raya ketika tiap-tiap



Gambar 2-E12 Kurva-kurva Perorangan, Marginal, dan Permintaan.

pengguna jalan hanya memperhatikan waktu tempuhnya sendiri. Waktu tambahan akibat penambahan satu kendaraan ekstra ke aliran arus lalu lintas disebut *waktu marginal*. Perhatikan bahwa waktu tambahan ini adalah untuk jarak 10 mil jalan raya. Perpotongan kurva waktu marginal b dengan kurva permintaan di titik x menghasilkan arus optimal (2.100 kendaraan/jam). Ini adalah arus di jalan raya ketika perjalanan dilakukan hanya jika keuntungan perjalanan bagi sang pelaku perjalanan melebihi waktu tambahan yang dikenakan atas pelaku perjalanan lain. Sumbu vertikal XZ mengindikasikan biaya tol yang akan menghasilkan kondisi-kondisi arus yang direpresentasikan oleh kurva b .

RANGKUMAN

Ekonomi transportasi merupakan salah satu cabang dari mikroekonomi terapan. Cabang ilmu ini membicarakan berbagai masalah khusus yang dihadapi oleh para insinyur dan perencana transportasi dan ditemui dalam disiplin ilmu transportasi. Pembahasan yang dilakukan di dalam cabang ilmu ekonomi ini hanya mencakup prinsip-prinsip dasar. Berbagai istilah, seperti permintaan transportasi, penawaran transportasi, sensitivitas permintaan perjalanan terhadap harga dan variabel lainnya (lebih dikenal dengan istilah “elastisitas”), nilai surplus konsumen, biaya total, biaya rata-rata dan biaya marginal, penetapan harga dan kebijakan subsidi, secara ringkas juga dipelajari.

Adalah sangat penting bagi mahasiswa untuk membaca dan mempelajari bab ini dari waktu ke waktu untuk dapat memahami segala kompleksitas dari topik ini. Konsep elastisitas harga, biaya marginal, permintaan dan penawaran, dan penetapan harga akan senantiasa muncul kembali di bab-bab selanjutnya, khususnya pada bab 15.

DAFTAR PUSTAKA

- | | |
|--|--|
| DE NEUFVILLE, R., (1990). <i>Applied Systems Analysis</i> , McGraw-Hill, New York. | <i>Economics</i> , Prentice Hall, Upper Saddle River, NJ. |
| KHISTY, C.J., and J. MOHAMMADI (2001). <i>Fundamentals of Systems Engineering</i> , Prentice Hall, Upper Saddle River, NJ. | O’SULLIVAN, A., (2000). <i>Urban Economics</i> , 4 th ed. Irwin-McGraw-Hill, New York. |
| MITCHELL, ROBERT L., (1980). <i>Engineering Economics</i> , Wiley, New York. | SAMUELSON, PAUL A., (1976). <i>Economics</i> , 10 th ed. McGraw-Hill, New York. |
| MORLOCK, E. K., (1978). <i>Introduction to Transportation Engineering and Planning</i> . McGraw-Hill, New York. | STUBBS, P. C., TYSON, W. J., and DALVI, M. O., (1980). <i>Transportation Economics</i> , Allen & Unwin, London. |
| MCDONALD, J. F., (1997). <i>Fundamentals of Urban</i> | WOHL, MARTIN, and CHRIS HENDRICKSON (1984). <i>Transportation Investment and Pricing Principles</i> , Wiley, New York. |

SOAL-SOAL LATIHAN

1. Fungsi performa ekonomi dari sebuah jalan raya yang menghubungkan daerah pinggir kota dengan pusat bisnis dapat diwakili dengan sebuah garis lurus menurut persamaan $t = a + bq$, di mana t adalah waktu tempuh (menit), q adalah arus lalu lintas (kendaraan per jam), dan a dan b adalah konstanta ($a = 10$ menit dan $b = 0,01$ menit/kendaraan-jam). Fungsi permintaan, juga direpresentasikan oleh garis lurus, yaitu $q = c + dt$, di mana c dan d adalah konstanta ($c = 5000$ kendaraan/jam dan $d = -100$ kendaraan/jam/menit).

- (a) Tentukan, dengan perhitungan aljabar, arus keseimbangan (q^*) dan waktu keseimbangannya (t^*), dan gambarkan fungsi-fungsinya.
 - (b) Jika panjang jalan raya adalah 22,5 mil, berapakah kecepatan rata-rata kendaraan sepanjang jalan raya ini?
 - (c) Diusulkan untuk meningkatkan jalan raya ini sehingga sekarang konstanta $b = 0,005$. Berapakah nilai t^* dan q^* yang baru, dan berapakah kecepatan rata-rata di jalan raya?
2. Pertumbuhan populasi dan penambahan aktivitas bisnis telah mempengaruhi jalur jalan raya yang diuraikan pada Contoh 2, dan rencana peningkatan jalan raya ini dicerminkan oleh persamaan yang merepresentasikan kondisi baru. Persamaan yang baru adalah:

$$t_1 = 15 + 0,004v_1$$

$$v_1 = 4.333 - 130r_1$$

- (a) Gambarkan dan fungsi permintaan pelayanan saat ini dan yang diusulkan.
 - (b) Bagaimanakah perkiraan Anda tentang waktu keseimbangan dan arus kendaraan pada jalur yang diusulkan?
 - (c) Jika panjang jalur ini adalah 20 mil, berapakah kecepatan rata-rata pada jalur ini?
3. Permintaan perjalanan pada sebuah bagian jalan raya dinyatakan dengan fungsi:

$$q = 2.000/(t + 1)$$

di mana q adalah arus perjalanan, dan t adalah waktu tempuh (menit). Gambarkan fungsi permintaan ini dan hitunglah perubahan perjalanan dalam kendaraan-jam ketika waktu tempuh meningkat dari 10 menjadi 15 menit akibat kepadatan jalan.

4. Fungsi permintaan untuk sebuah sistem transit dapat direpresentasikan oleh sebuah garis lurus yang menghubungkan harga tiket per orang dengan penumpang. Observasi yang dilakukan atas sistem ini mempunyai hasil sebagai berikut: ketika harga tiket \$1,5 per perjalanan, penumpang per jam adalah 2.000, ketika harga tiket meningkat menjadi \$2 per perjalanan, penumpang turun menjadi 1.000. Bagaimanakah persamaan fungsi permintaan? Bagaimanakah kecenderungan penumpang, jika harga tiket adalah (a) 50 sen per perjalanan; (b) nol?
5. Sebuah perusahaan bis mengenakan tarif flat 50 sen per perjalanan ke semua tempat di suatu kota dan memiliki penumpang 500.000 orang per hari. Diputuskan untuk menaikkan harga tiket menjadi 60 sen per perjalanan dan diperkirakan bahwa 470.000 penumpang akan menggunakan bis. Hitunglah (a) kurva elastisitas harga; (b) keuntungan atau kerugian total yang mungkin terjadi dari total pendapatan per hari.
6. Dalam batas-batas tertentu, sebuah perusahaan bis memiliki fungsi permintaan yang berhubungan dengan penumpang (Q) dan harga per perjalanan (P) sebagai berikut:

$$Q = 2.125 - 1.000 P$$

di mana Q adalah perjalanan orang/hari, dan P adalah harga (dollar/perjalanan). Seorang manajer memiliki beberapa pilihan untuk meningkatkan total pendapatan: (1) menarik minat penumpang tambahan dengan menjadwalkan ulang dan mengubah jalur pelayanan sehingga mengubah fungsi permintaan menjadi $Q = 2.150 - 1.000P$, atau (2) menyenangkan para penumpang untuk menggunakan sistem dengan mengurangi harga tiket dari \$1,3 menjadi \$1. Alternatif manakah yang akan Anda sarankan kepada manajer, dan berilah alasan atas pilihan Anda tersebut.

7. (a) Sebuah perusahaan bis menjumpai bahwa elastisitas harga permintaan untuk perjalanan bis selama jam sibuk adalah $-0,4$ untuk perubahan kecil harga. Manajemen bermaksud untuk menaikkan harga tiket, tetapi kuatir bahwa pilihan ini akan (1) mengurangi jumlah penumpang, dan (2) mengurangi pendapatan perusahaan. Apakah kekuatiran tersebut beralasan? Uraikan analisis Anda.
- (b) Seandainya situasi yang sama akan terjadi di kota lain di mana elastisitas harga adalah $-1,3$, apakah kekuatiran ini juga beralasan?

8. Sebuah perusahaan penerbangan saat ini menjual layanan paket untuk \$100 tiket pulang-pergi, dan menjual 5.000 tiket per minggu. Karena permintaan yang tinggi, perusahaan menaikkan harga tiket menjadi \$120 per tiket dengan harapan pendapatan akan meningkat. Jika elastisitas harga saat ini adalah $-1,2$, bagaimanakah penjualan tiket per minggu dan bagaimana hal ini mempengaruhi total pendapatan? Apakah kesimpulan yang Anda ambil dari kasus ini?
9. Ketika penawaran sepeda motor turun 10%, harga meningkat hingga 40%. Berapakah elastisitas harga permintaan sepeda motor? Apa yang akan terjadi jika penjual sepeda motor menaikkan harga sampai 50% akibat penurunan penawaran ini?
10. Yang manakah dari pasangan produk berikut ini yang dapat digolongkan sebagai pelengkap dan manakah yang merupakan pengganti?

Kelompok A: Aki mobil dan mobil

Kelompok B: Ban mobil dan mobil

Kelompok C: Perjalanan dengan bis dan perjalanan dengan pesawat terbang

Kelompok D: Hot dog dan Hamburger

Kelompok E: Kuda dan kereta kuda

Kelompok F: Hot dog dan kue

11. Lihat Contoh 6. Jika seluruh kondisi tidak ada yang berubah, tetapi elastisitas adalah $-0,75$, apakah saran yang akan Anda berikan kepada manajemen perusahaan transit ini?
12. Fungsi permintaan atas perjalanan kendaraan di sepanjang sebuah jalan utama pada sebuah kota berukuran sedang dapat dihitung dengan rumus:

$$Q = aA^{-2,2}B^{0,13}C^{-0,4}D^{0,75}$$

di mana

Q = Perjalanan kendaraan per jam (jam sibuk)

a = Konstanta

A = Waktu tempuh dengan kendaraan (menit)

B = Waktu tempuh dengan bis (menit)

C = Biaya rata-rata dengan kendaraan

D = Biaya rata-rata dengan bis

- (a) Jelaskan tanda (+ atau -) dari eksponen pada parameter A , B , C , dan D .
- (b) Karena kemacetan cenderung terjadi di jalan ini, waktu tempuh kendaraan akan meningkat 20%, dan waktu tempuh bis meningkat 10%. Pada saat yang sama, biaya perjalanan kendaraan meningkat 5% dan biaya bis menurun 15%. Berapakah prosentase perubahan pada lalu lintas kendaraan?
- (c) Jika biaya rata-rata perjalanan bis meningkat 10%, tetapi waktu tempuhnya menurun 10%, berapakah persentase kenaikan atau penurunan total pada perjalanan kendaraan?
13. Sebuah perusahaan transit memperkirakan bahwa elastisitas silang permintaan antara bis cepat dan bis biasa adalah 2. Hitunglah dampak terhadap pendapatan yang diterima oleh pelayanan bis cepat apabila harga pelayanan bis biasa diturunkan dari \$75 ke \$50, sementara harga layanan bis cepat tidak berubah.
14. Permintaan tersamar untuk perjalanan lewat jalan raya didefinisikan sebagai selisih antara jumlah maksimum perjalanan yang dapat dilakukan dengan jumlah perjalanan yang sebenarnya terjadi. Jika fungsi permintaan $q = 1.800 - 150t$, berapakah elastisitas waktu permintaan ketika t sama dengan 2 menit? Berapakah permintaan tersamar pada waktu perjalanan ini?
15. Sebuah perusahaan transit bermaksud meningkatkan salah satu bagian sistem rel kereta api ringan dengan menambah jumlah kursi pada jam sibuk sebesar 20%, dan juga menyesuaikan harga tiket untuk mencapai penggunaan penuh. Kapasitas yang ada adalah 2.000 kursi per jam dengan harga \$ 1 per kursi, dan elastisitas harga adalah $-0,75$. Berapakah nilai surplus konsumen yang akan diperoleh dari kebijakan ini? Apakah perusahaan tersebut juga akan untung pula?

16. Sebuah perusahaan bis memiliki 50 bis (kapasitas 50 kursi) dengan harga \$1 per perjalanan. Di-putuskan untuk meningkatkan layanan dengan menambah armada 10%. Berapakah seharusnya harga tiket baru per perjalanan untuk mencapai penggunaan kapasitas penuh jika elastisitas harga permintaan untuk penumpang adalah $-0,3$? Apakah keuntungan tambahan bagi konsumen dari keadaan ini?
17. Pelayanan penyeberangan dari sebuah kota ke sebuah pulau tempat rekreasi saat ini dilayani feri reguler dan kapal mewah. Lima ribu penumpang per hari menggunakan feri reguler dan 7000 penumpang menggunakan kapal mewah. Waktu tempuh (menit) dan harga tiket (dollar) adalah sebagai berikut:

	Waktu perjalanan (menit)	Harga tiket (\$)
Feri reguler	45	1
Kapal mewah	30	2

Elastisitas kurva waktu linier dan elastisitas kurva harga permintaan adalah sebagai berikut:

	Feri reguler		Kapal mewah	
	Waktu	Harga	Waktu	Harga
Feri reguler	-0,03	-0,04	+0,02	+0,05
Kapal mewah	+0,05	+0,02	-0,07	-0,20

- (a) Jika harga tiket kapal mewah dinaikkan menjadi \$2,50, apakah akibatnya bagi penumpang?
- (b) Jika waktu tempuh kapal mewah dikurangi 25 menit, apakah akibatnya bagi penumpang?
- (c) Jika waktu tempuh feri reguler meningkat menjadi 50 menit, apakah akibatnya bagi penumpang?
- (d) Bagaimanakah total pendapatan dipengaruhi oleh bagian (a), (b), dan (c)?
18. Sebuah survey terhadap beberapa mahasiswa mengungkapkan bahwa, secara umum, mereka melakukan satu kali perjalanan kereta api untuk berlibur dalam sebulan seharga \$40, dua kali sebulan dengan harga \$30, tiga kali sebulan dengan harga \$20, empat kali sebulan dengan harga \$15, dan lima kali sebulan dengan harga \$5. Survey ini membuktikan bahwa mahasiswa tidak akan melakukan lebih dari lima kali perjalanan, meskipun mereka mempunyai waktu luang.
- (a) Jika harga tiket \$25 per perjalanan, berapa banyak rata-rata per perjalanan yang akan dilakukan oleh mahasiswa?
- (b) Sebuah klub perjalanan, mengenakan paket bulanan, memberikan perjalanan gratis kepada mahasiswa. Berapa harga yang harus dibayar oleh mahasiswa, jika mengambil paket bulanan?
19. Sebuah sistem transit cepat telah memperkirakan biaya operasi berikut ini untuk salah satu rutenya, dengan membuat sejumlah kombinasi biaya gerbong per kereta api:

Jumlah Gerbong	Biaya Tetap (\$/mil)	Biaya Tidak Tetap (\$/mil)
1	45	30
2	45	54
3	45	76
4	45	102
5	45	150
6	45	225
7	45	310

Plotlah setiap kombinasi di atas, meliputi biaya total, biaya rata-rata, dan biaya marginal untuk mengoperasikan sistem tersebut. Berapakah jumlah gerbong per kereta api yang Anda sarankan untuk dioperasikan?

20. Sebuah perusahaan pembuat beton konstruksi bermaksud mempekerjakan tenaga baru apakah itu dengan upah \$5/jam (semi ahli) atau \$3,5/jam (tanpa keahlian). Data berikut ini tersedia untuk pengambilan keputusan:

Jumlah pekerja	2	3	4	5	6	7	8
Hasil (yard ³)	56	120	180	200	210	218	224

Biaya tetap tambahan adalah \$50/jam jika tenaga kerja semi ahli digunakan, dan \$60/jam jika tenaga kerja tanpa keahlian yang digunakan. Tentukanlah jumlah tenaga kerja yang harus digunakan untuk meminimalkan biaya produksi. Berapakah biaya yang akan dikeluarkan per yard kubik?

21. Suatu bagian dari jalan raya mempunyai ciri-ciri sebagai berikut:

$$v = 60 - \left(\frac{q}{120} \right)$$

di mana v adalah kecepatan (mil per jam), dan q adalah arus aliran kendaraan (kendaraan per jam). Selain itu, terdapat persamaan:

$$p = 2,5 \left(3 + \frac{200}{v} \right)$$

di mana p adalah biaya pengendara (sen/mil) dan

$$D = 3,8 \times \frac{10^4}{p}$$

di mana D adalah permintaan (kendaraan/jam).

- Plotlah kurva biaya pengendara dan biaya kurva marginal, serta kurva permintaan.
 - Tentukan arus optimum
 - Tentukan biaya tol yang harus dikenakan agar diperoleh arus optimal di jalan raya tersebut.
22. Suatu bagian pada sebuah jalan raya memiliki karakteristik sebagai berikut:

$$\text{Biaya rata-rata (sen/mil/kendaraan)} = 8,0 + \left(\frac{350}{28 - 0,008q} \right)$$

di mana

q = tingkat arus

t = waktu tempuh per mil untuk tingkat arus sebesar q

$$= \frac{1}{28 - 0,008q}$$

Jika arus meningkat dari 1.800 kendaraan menjadi 1.801 kendaraan, hitunglah biaya rata-rata dan biaya marginal per kendaraan-mil dan waktu tempuh. Jelaskan interpretasi Anda tentang hasil perhitungan dari kasus ini.

23. Sepuluh mil dari suatu jalan tol yang sangat padat ditingkatkan dengan menambah sebuah lajur tambahan, dengan harapan akan mengurangi kemacetan dan menurunkan waktu tempuh rata-rata pada bagian sepanjang 10 mil tersebut. Tiga tahun kemudian, setelah jutaan dollar dikeluarkan, para pengguna jalan tol semakin frustrasi karena kepadatan dan waktu tempuh pada jalan ini ternyata semakin memburuk. Plotlah dua jenis fungsi permintaan dan penawaran pada sebuah grafik, di mana waktu diplot pada sumbu y dan arus kendaraan pada sumbu x , untuk menggambarkan fenomena ini. Pelajaran apakah yang dapat Anda petik dari kasus ini?
24. Sebuah perusahaan bis kecil mempunyai fungsi biaya $C = 5 + 7q$, di mana q adalah jumlah bis, dan C adalah biaya dalam ribuan.
- Tentukan fungsi biaya rata-rata dan fungsi biaya marginal.
 - Tentukan fungsi elastisitas.

- (c) Apakah terdapat ekonomi skala di sini?
 - (d) Apakah Anda merekomendasikan untuk menambah kapasitas bis berdasarkan situasi pada soal (c)?
- 25.** Lihatlah Soal no. 24. Sebuah perusahaan bis kecil di suatu kota memiliki fungsi biaya $C = 7q$. Jawablah pertanyaan (a) sampai (d) untuk kota ini.

Sistem Tata-Guna Lahan/ Transportasi

1. PENDAHULUAN

Saling ketergantungan antara tata-guna lahan dan transportasi telah dibahas secara singkat pada Bab 1. Pada bab itu diuraikan bahwa sebidang lahan dengan jenis tataguna lahan tertentu menghasilkan sejumlah perjalanan tertentu. Perjalanan ini menunjukkan kebutuhan akan fasilitas transportasi untuk memenuhi permintaan perjalanan. Pada gilirannya, fasilitas transportasi yang baru atau yang lebih maju akan menyediakan aksesibilitas yang lebih baik. Dengan sendirinya, permintaan untuk membangun lahan ini akan meningkat karena adanya peningkatan aksesibilitas, yang menyebabkan nilai lahan juga akan meningkat. Pada akhirnya, tata-guna lahan akan berubah dari semula (biasanya menjadi lebih padat), mencerminkan kondisi permintaan pasar atas lahan tersebut; sehingga siklusnya berulang kembali. Meskipun ini adalah penjelasan sederhana dari siklus tata-guna lahan/transportasi, ini mencerminkan sifat interaktif dari kedua komponen tersebut.

Sayangnya, keputusan-keputusan dalam transportasi dan pengembangan-lahan sering kali dianggap sebagai dua masalah yang terpisah dalam analisis, perencanaan, desain, dan evaluasi. Dalam bab ini, kita akan mencoba untuk melihat interaksi antara tata-guna lahan dan transportasi dengan mempelajari komponen-komponen sistem wilayah perkotaan dan menelaah berbagai kriteria untuk menghitung struktur wilayah perkotaan. Beberapa teori pilihan yang berhubungan dengan tata-guna lahan juga akan dipelajari, dilanjutkan dengan pembahasan tentang masalah-masalah yang lebih kompleks yaitu mengenai tata-guna lahan dan transportasi dan kaitannya secara langsung dengan kependudukan dan perumahan.

Bab ini merupakan bab yang penting untuk dipahami oleh mahasiswa karena mencakup sebagian besar latar belakang informasi yang dibutuhkan untuk memahami dasar-dasar teknik dan perencanaan transportasi. Mahasiswa mungkin saja tidak terlalu mengerti isi bab ini pada saat pertama kali membacanya. Buka kembali dan baca bab ini setelah Anda mempelajari bab-bab berikutnya. Hal ini akan sangat menguntungkan Anda.

2. KOMPONEN-KOMPONEN SISTEM WILAYAH PERKOTAAN

Di dalam sebuah negara demokrasi seperti Amerika Serikat, lahan secara historis telah digunakan oleh para pemilik tanah untuk berbagai tujuan yang menguntungkan mereka. Dengan berkem-

bangnya masyarakat, pembatasan mulai diterapkan pada penggunaan lahan, terutama jika penggunaannya kemungkinan akan menimbulkan dampak negatif bagi lingkungan sekitarnya. Pembatasan ini, dengan demikian, telah menjaga hak-hak seseorang dari gangguan pihak lain. Dengan meningkatnya kebutuhan akan perumahan yang layak, jalan yang aman, fasilitas air, dan saluran pembuangan, pemerintah dan pihak swasta melihat pentingnya kebutuhan akan perencanaan dan pengaturan tata-guna lahan. Asal mula istilah *tata-guna lahan* (*land use*) berawal dari ilmu ekonomi pertanian. Istilah ini mengacu pada sebidang lahan dan manfaat ekonomi yang dimiliki oleh lahan tersebut—peternakan, pembudidayaan tanaman, pertambangan, atau pembangunan gedung.

Perencanaan tata-guna lahan sesungguhnya dapat dipandang dalam dua konteks. Pertama, perencanaan tataguna lahan mencakup seluruh bentuk perencanaan. Sebagai contoh, perencanaan transportasi dapat dianggap sebagai salah satu bentuk perencanaan tata-guna lahan karena perencanaan transportasi sebenarnya adalah perencanaan terhadap sebagian lahan yang akan digunakan untuk transportasi. Kedua, perencanaan tata-guna lahan adalah sebuah disiplin ilmu tersendiri, yang memiliki seperangkat teori dan praktik (ASCE, 1986). Beberapa dari teori-teori tersebut akan dipelajari di dalam bab ini.

Terlepas dari kenyataan bahwa setiap kota dan wilayah perkotaan memiliki ciri khasnya masing-masing, namun terdapat susunan yang jelas atau koheren di dalam polanya secara keseluruhan. Meskipun terdapat kantong-kantong ketidakteraturan di sana-sini, susunan kota secara umum tampak sesuai satu sama lain; bangunan dan penggunaan lahan terlihat ditata menurut suatu “rencana” (Bourne, 1982). Seseorang mungkin akan bertanya, “Apa sebenarnya logika di balik susunan ini, terlepas dari segala bentuk ketidakteraturannya?” Di beberapa bagian bab ini, kami berupaya untuk menyajikan jawaban atas pertanyaan open-ended ini.

Tidak ada konsep atau teori yang seragam mengenai bentuk wilayah perkotaan dan struktur ruang yang pernah diungkapkan, meskipun beberapa pakar kewilayahan dan perencana kota telah mengemukakan teori, hipotesis, dan model mereka tentang subjek ini. Tentunya, terdapat validitas untuk masing-masing pendekatan, tetapi tidak satu pun yang dapat diterima secara universal (Bourne, 1982). Tujuan yang hendak dicapai di sini adalah mengidentifikasi bentuk konsep dan gagasan yang konsisten untuk membantu memahami tata-susunan wilayah perkotaan.

Melihat suatu kota (atau suatu wilayah perkotaan) sebagai sebuah sistem merupakan hal yang sangat berguna. Sejumlah elemen atau komponen yang saling berhubungan, dalam suatu kombinasi, membentuk sistem kota ini. Tabel 3-1 memuat serangkaian komponen sistem berikut elemennya masing-masing, di dalam tata-susunan kota tersebut, yang didefinisikan sebagai sistem ruang atau sistem spasial. Karakteristik tiap-tiap komponen dapat diuraikan secara rinci, tetapi di sini cukup diuraikan beberapa contoh saja. Inti (nukleus) suatu kota dapat dipandang sebagai lokasi kediaman awal (*initial settlement*), berkembang dengan berjalannya waktu, sebagai pusat komersial atau pusat komunikasi dari kota tersebut—biasanya disebut daerah pusat bisnis/DPB (*central business district/CBD*). Dengan pertumbuhan dan perkembangan kota, pengaruh DPB bisa berkurang karena perkembangan daerah-daerah di sekitarnya (Bourne, 1982).

Kota memiliki daerah yang jelas, dengan batas-batas yang dapat diidentifikasi, dalam suatu waktu tertentu. Setiap kota memperlihatkan jenis perilaku yang spesifik. Perilaku tersebut, hadir dalam bentuk pertumbuhan, perubahan, atau penurunan, akan dipengaruhi oleh sejumlah mekanisme yang mendasari bentuknya dan menentukan pola perubahan yang akan terjadi. Kota juga mempunyai lingkungan eksternal, yang mungkin berupa daerah *pedalaman* terdekat, atau daerah ekonomi, atau seluruh tatanan politik, ekonomi, atau budaya di mana kota tersebut menjadi bagian integralnya. Selain itu, terdapat suatu urutan sejarah pengembangan atau alur waktu yang berhubungan dengan sebuah kota, seperti roda pembangunan atau

Table 3-1 Komponen-komponen sistem di dalam Struktur Ruang Wilayah Perkotaan

Komponen-Komponen Sistem	Elemen-elemen yang Berhubungan di dalam Struktur Ruang Wilayah perkotaan
1. Inti: Titik awal suatu sistem dan tempat pengendali	1. Pembentukan awal (misalnya, lokasi bertemunya dua sungai, atau pelabuhan) dan daerah pusat bisnis.
2. Bentuk geometris daerah dan batas-batas sistem	2. Perluasan geografis dan batas-batas wilayah perkotaan
3. Elemen-elemen: bagian, satuan, atau unsur kecil yang membentuk keanggotaan sistem	3. Kelompok sosial, tata-guna lahan, aktivitas, interaksi, dan institusi
4. Prinsip-prinsip pengaturan: apa saja yang mengikat sistem menjadi satu dan mengalokasikan kegiatan ke berbagai daerah sistem; "energi" apa yang mendorong sistem?	4. Logika dasar atau prinsip-prinsip struktur wilayah perkotaan (misalnya, harga lahan) dan faktor-faktor penentu pertumbuhan
5. Perilaku: bagaimana sistem bertindak dan berubah terhadap waktu; tindakan rutin atau tindakan tak rutinnya	5. Cara kerja kota; pola-pola aktivitas dan performa pertumbuhannya
6. Lingkungan: faktor "eksternal" yang mempengaruhi sistem itu	6. Sumber dan jenis faktor-faktor penentu eksternal dari struktur wilayah perkotaan
7. Alur waktu: sebuah kecenderungan evolusi dan perubahan	7. Urut-urutan pembangunan; profil sejajar dari siklus pembangunan dan era-era transportasi

Sumber: Dari *Internal Structure of the City: Readings on Urban Form, Growth and Policy*, edisi kedua, oleh Larry S. Bourne. Copyright © 1982 oleh Oxford University Press, Inc., Direproduksi dengan izin.

pembuatan jalan tol (*freeway*) atau jalan kereta api. "Tingkatan" pembangunan semacam ini sering diistilahkan dengan "kepribadian" kota (Bourne, 1982).

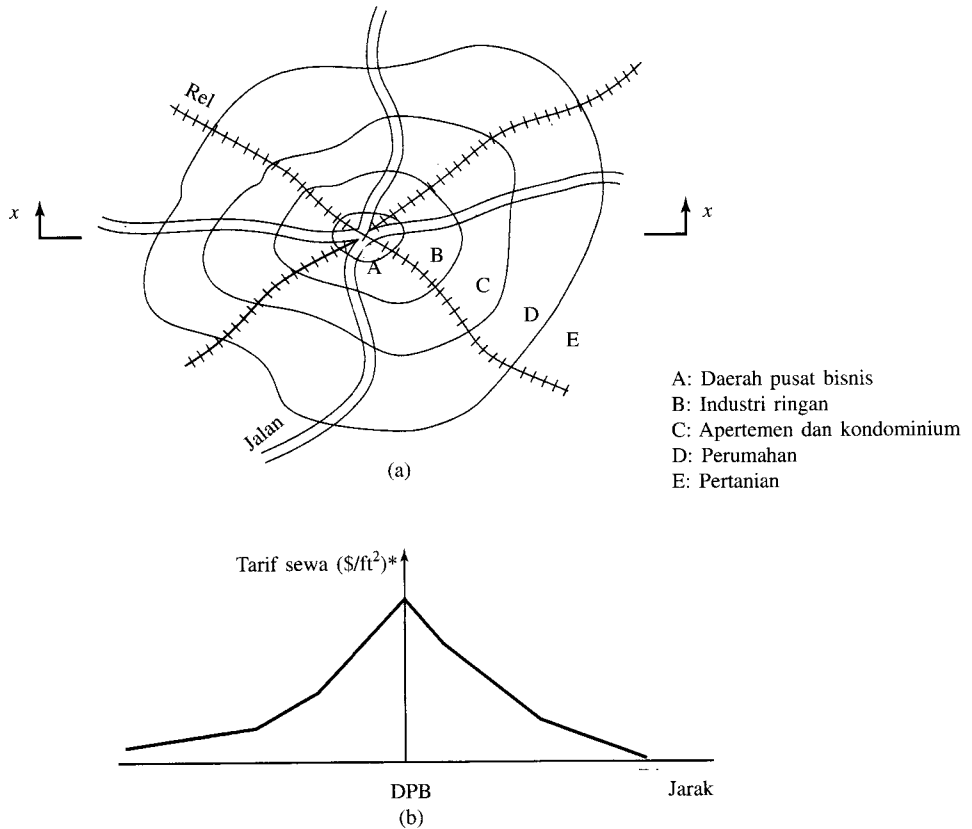
3. KONSEP DAN DEFINISI

Berikut ini diberikan sekumpulan definisi sederhana dan konsep-konsep dasar untuk membantu pemahaman akan bentuk dan struktur wilayah perkotaan, dengan menyadari bahwa dalam topik interdisipliner seperti ini, segala sesuatu berhubungan dengan yang lainnya (Bourne, 1982; ASCE, 1986; Hansen, 1986).

1. *Bentuk wilayah perkotaan*: Pola atau "pengaturan" ruang yang terdiri dari elemen-elemen individu, seperti bangunan, jalan, parkir, dan penggunaan lahan lainnya (secara kolektif disebut *lingkungan jadi* (*built environment*)), demikian pula kelompok sosial, aktivitas ekonomi, institusi publik, di dalam suatu wilayah perkotaan, dikenal dengan istilah bentuk wilayah perkotaan. Gambar 3-1(a) merepresentasikan konfigurasi umum dari tata-guna lahan.

2. *Interaksi wilayah perkotaan*: Ini adalah satu kesatuan hubungan, keterkaitan, dan arus yang menyatukan pola dan perilaku tata-guna lahan, kelompok, dan aktivitas individu menjadi entitas, atau subsistem, yang memiliki fungsi. Salah satu di antara subsistem pemersatu terpenting adalah jalan raya atau jalan. Gambar 3-1(a) memperlihatkan sekumpulan jalan raya dan jalan kereta api yang menghubungkan berbagai tataguna lahan.

3. *Struktur ruang wilayah perkotaan*: Struktur ini secara formal menggabungkan bentuk wilayah perkotaan melalui interaksi wilayah perkotaan dengan seperangkat aturan menjadi suatu sistem kota. Gambar 3-1(b) memperlihatkan sebuah contoh mekanisme pengaturan sistem, seperti biaya sewa yang berbeda untuk lokasi yang berbeda di dalam suatu wilayah perkotaan. Mekanisme ini menghasilkan suatu "urutan" aktivitas menurut lokasinya dan harga sewa yang



Gambar 3-1 Komponen-komponen Struktur Ruang Wilayah Perkotaan.

dapat dibayar oleh setiap orang. Ini hanyalah sebuah contoh; mekanisme pengaturan lainnya merupakan fungsi dari institusi pemerintah dan publik dan norma-norma atau perilaku sosial yang berlaku.

4. Rencana komprehensif: Rencana keseluruhan dasar biasanya merupakan rencana komprehensifnya, kadangkala disebut sebagai *master plan* atau rencana umum. Rencana ini, pada tingkat yang paling sederhana, adalah pernyataan resmi mengenai kebijakan yang dikeluarkan oleh suatu unit geografis (kota atau daerah) yang berhubungan dengan pembangunan fisik untuk beberapa tahun ke depan. Perencanaan ini merupakan kerangka kerja bagi pembangunan suatu daerah geografis berdasarkan suatu pertimbangan dan mencakup rekomendasi tentang apa, di mana, kapan, dan khususnya mengapa, pembangunan tertentu, yang terkait dengan perumahan, saluran pembuangan, saluran air, transportasi, dan sebagainya harus dilakukan. Rencana tata-guna lahan, yang merupakan bagian dasar dari rencana komprehensif, mengandung dokumentasi analisis yang telah dilaksanakan, mengarah pada penentuan pembangunan fisik terbaik di masa yang akan datang. Perencanaan transportasi juga merupakan bagian dari rencana komprehensif ini.

5. Panduan: Pada beberapa kasus, sejumlah panduan (*guideline*) pembangunan dapat digunakan sebagai alternatif yang dianjurkan dalam penyusunan rencana tata-guna lahan. Panduan dapat ditingkatkan perannya sebagai suatu teknik implementasi dengan cara menuangkan panduan-panduan ini menjadi ketentuan hukum.

6. *Ketentuan Hukum*: Beberapa rekomendasi dari rencana tata-guna lahan dapat ditransformasikan menjadi rancangan undang-undang yang kemudian diserahkan kepada badan legislatif untuk ditetapkan menjadi undang-undang.

7. *Kode*: Kode (peraturan) perumahan dan bangunan adalah teknik implementasi yang penting untuk manajemen tata-guna lahan. Kode-kode tersebut menjamin kualitas pertumbuhan komunitas dengan cara menetapkan standar-standar tertentu. Kode biasanya banyak digunakan pada tingkat pemerintahan daerah.

8. *Pembagian Zona*: Pembagian zona adalah peranti hukum yang tertua dan paling banyak digunakan untuk implementasi rencana tata-guna lahan setempat. Pada dasarnya pembagian zona adalah suatu jaminan bahwa tata-guna lahan dalam suatu unit geografis sesuai dengan zona lainnya. Pembagian zona memungkinkan pengendalian kemacetan dalam tiap kategori pembagian zona, seperti keluarga, apartemen, kantor, daerah komersial, dan sebagainya, dengan tujuan menyediakan fasilitas yang layak (jalan, air, saluran, sekolah) untuk kategori tersebut. Pembagian zona ini tidak hanya menetapkan unsur-unsur seperti *setback* dan ukuran lot minimum, tetapi juga meliputi cara menjaga dan melindungi lingkungan.

9. *Peraturan subdivisi*: Peraturan ini melengkapi pembagian zona setempat tetapi tidak dapat menggantikannya. Pembagian peraturan mengendalikan pembangunan dan perubahan di dalam suatu komunitas dan mendukung pelayanan lokal yang efisien dan sesuai harapan.

10. *Infrastruktur*: Semua fasilitas pendukung kehidupan di dalam suatu unit geografis secara kolektif disebut sebagai infrastruktur. Infrastruktur terdiri dari elemen dasar yang membuat suatu wilayah perkotaan berfungsi, seperti fasilitas transportasi, fasilitas air dan pembuangan, jalan raya, perumahan, pelabuhan, jalur pipa, dan sebagainya.

4. KRITERIA UNTUK MENGUKUR DAN MEMBANDINGKAN STRUKTUR WILAYAH PERKOTAAN

Akan sangat membantu apabila kita memiliki sejumlah kriteria dalam mengukur dan membandingkan bentuk wilayah perkotaan dan struktur ruang. Sejumlah kriteria ini mengumpulkan berbagai konsep untuk tujuan-tujuan evaluasi (Bourne, 1982). Tabel 3-2 menyajikan daftar 20 kriteria yang dikelompokkan menjadi empat bagian. Kebanyakan kriteria mudah dijelaskan baik dalam tujuan maupun penggunaannya. Bagian pertama menyatakan bahwa struktur internal wilayah perkotaan akan berbeda-beda apabila bangunan yang tersedia, sistem jalan, dan kawasan industri mempunyai usia yang berbeda dan dibangun dengan kebijakan, teknologi, dan kondisi ekonomi yang berbeda pula. Kriteria kelompok kedua terdiri dari berbagai petunjuk yang lebih tradisional dan lebih dikenal. Sebagai contoh, kota-kota dengan populasi yang relatif sama yang menempati daerah-daerah yang topografinya berbeda, masing-masing akan menghasilkan bentuk wilayah perkotaan yang berbeda-beda, bahkan sistem transportasinya pun bisa berbeda.

Kriteria yang ketiga berhubungan dengan indeks-indeks pola wilayah perkotaan yang dapat diukur dengan mudah. Apabila dikombinasikan, indeks-indeks ini menyediakan gambaran yang komprehensif tentang bentuk geometris kota, tetapi sangat sedikit yang diketahui tentang operasi atau perilaku dari kota tersebut. Gambar 3-2 memperlihatkan kriteria struktur ruang wilayah perkotaan untuk sebuah kota: tingkat kepadatan, homogenitas atau tingkat keseragaman, konsentrisitas (tingkat pemusatan), sektoralitas (tingkat pembagian), konektivitas (tingkat hubungan), dan tingkat pengarah.

Table 3-2 Kriteria Struktur Ruang Wilayah perkotaan

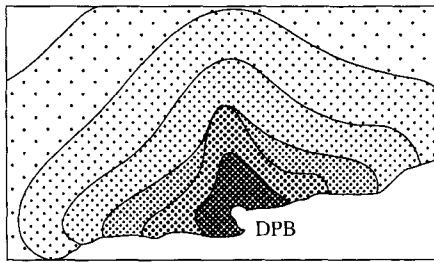
Tingkat	Kriteria	Uraian dan Contoh
Konteks	1. Pewaktuan	Waktu dan tahap pembangunan
	2. Ciri khas fungsional	Moda dan tipe produksi yang dominan (misalnya, pusat layanan, kota pertambangan)
	3. Lingkungan eksternal	Lingkungan sosioekonomi dan budaya di mana suatu kota terletak
	4. Lokasi relatif	Posisi di dalam sistem wilayah perkotaan yang lebih besar (misalnya, perbedaan yang menyolok antara pusat dan pinggiran)
Bentuk makro	5. Skala	Ukuran: luas daerah, jumlah penduduk, basis ekonomi, pendapatan, dan sebagainya
	6. Bentuk	Bentuk geografis daerah
	7. Lokasi dan bentuk topografi	Lansekap/lingkungan fisik di mana suatu kota dibangun
	8. Jaringan transportasi	Jenis dan konfigurasi sistem transportasi
Bentuk dan fungsi internal	9. Kepadatan	Kepadatan rata-rata pembangunan; bentuk kemiringan/kecenderungan kepadatan (misalnya, populasi penduduk)
	10. Homogenitas	Tingkat percampuran (atau pemisahan) dari penggunaan, aktivitas, dan kelompok sosial
	11. Tingkat pemusatan	Tingkat ke arah mana penggunaan, aktivitas, dan lain-lain diatur dalam zona-zona secara relatif terhadap pusat kota
	12. Tingkat pembagian	Tingkat ke arah mana penggunaan, aktivitas, dan lain-lain diatur dalam sektor-sektor secara relatif terhadap pusat kota
	13. Tingkat hubungan	Tingkat ke arah mana titik-titik atau sub-wilayah perkotaan dihubungkan oleh jaringan transportasi, interaksi sosial, dan sebagainya
	14. Tingkat pengarahan	Tingkat orientasi pengarahan di dalam pola-pola interaksi (misalnya, perpindahan penduduk)
	15. Tingkat kesinambungan	Tingkat hubungan antara kegunaan dan bentuk
	16. Tingkat penggantian	Tingkat ke arah mana bentuk-bentuk wilayah yang berbeda (misalnya, bangunan, daerah, fasilitas umum) dibangun untuk sebuah fungsi dan dapat digunakan (diganti) untuk fungsi lainnya
Pengaturan dan perilaku	17. Prinsip-prinsip pengorganisasian	Mekanisme yang mendasari pemilahan dan integrasi ruang/spasial
	18. Otomatisasi/komputerisasi	Pengembangan atas tanggapan; tingkat sensitivitas atas bentuk perubahan
	19. Mekanisme pengaturan	Pengertian mendalam tentang pengendalian dan pengawasan (misalnya, penentuan zona, pengendalian bangunan, masalah keuangan)
	20. Orientasi tujuan	Tingkat ke arah mana struktur wilayah perkotaan berkembang ke arah objektif yang telah ditetapkan

Sumber: Bourne, 1982. Direproduksi dengan izin.

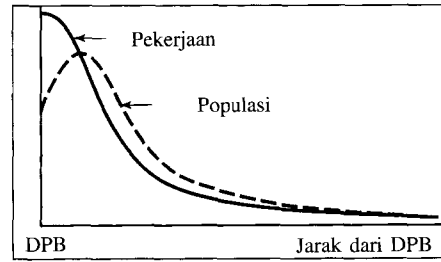
Pengkajian yang seksama terhadap berbagai kriteria tersebut menghasilkan, secara sistematis, beranekaragam gagasan dari berbagai disiplin ilmu yang berbeda.

5. BEBERAPA TEORI DAN TOPIK PILIHAN

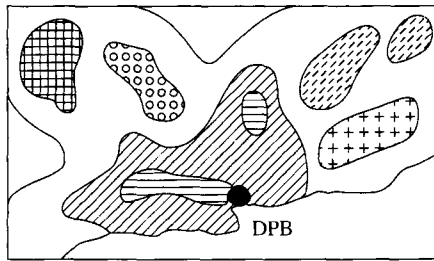
Teori perencanaan wilayah perkotaan berkaitan dengan penentuan dan pemahaman mengenai isi, penerapan, dan proses perencanaan. Teori berhubungan dengan praktek, demikian pula sebaliknya. Bagi ahli perencana, hubungan ini sangat vital karena perencanaan, tidak seperti sains, adalah kegiatan yang bersifat preskriptif (atau normatif), dan tidak bersifat deskriptif. Tujuan para ahli perencana tidak semata-mata hanya menguraikan tentang kota dan komponen-komponen penyusunnya, tetapi juga memberikan cara bagaimana kota tersebut dapat diubah menuju kondisi yang lebih baik. Pada bagian ini, konsep aksesibilitas dijelaskan dengan bantuan beberapa contoh. Teori lokasi dan aplikasinya dalam transportasi juga dipelajari. Penjelasan singkat tentang pembagian zona juga akan disertakan.



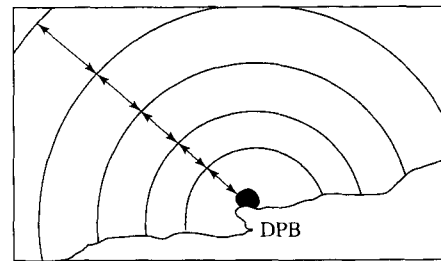
Pola-pola Kepadatan



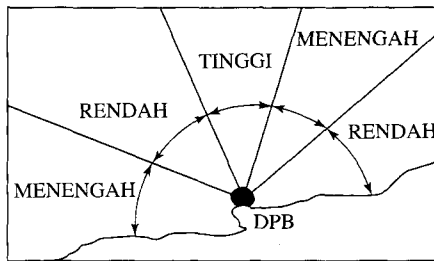
Gradien/Kemiringan Kepadatan



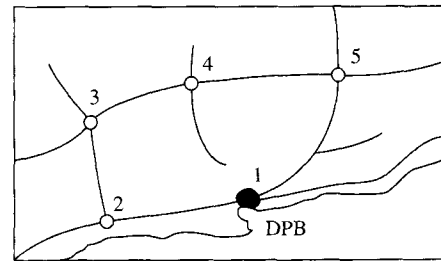
Tingkat Homogenitas (Daerah-daerah sosial)



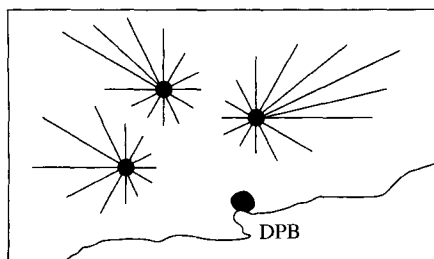
Tingkat Pemusatan (Usia Perumahan)



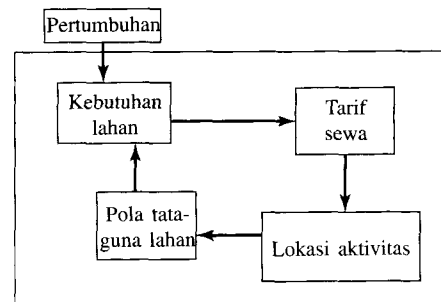
Tingkat Pembagian (Pendapatan)



Tingkat Hubungan (Jaringan Jalan)



Tingkat Pengarahan (Pencarian Pemukiman)



Prinsip-prinsip Pengorganisasian

Gambar 3-2 Kriteria Pilihan Struktur Ruang Wilayah Perkotaan (Bourne, 1982).

5.1 Aksesibilitas

Konsep yang mendasari hubungan antara tata-guna lahan dan transportasi adalah aksesibilitas. Dalam konteks yang paling luas, aksesibilitas berarti kemudahan melakukan pergerakan di antara dua tempat. Aksesibilitas meningkat—dari sisi waktu atau uang—ketika pergerakan menjadi lebih murah. Selain itu, kecenderungan untuk berinteraksi juga akan meningkat ketika biaya pergerakan menurun (Blunden, 1971; Blunden dan Black, 1984).

Contoh 1

Dari \ Ke	Titik				Σ	Perubahan
	A	B	C	D		
A	0(0)	6(4)	7(6)	9(8)	22(18)	-18%
B	6(4)	0(0)	6(5)	4(2)	16(11)	-31%
C	7(6)	6(5)	0(0)	7(5)	20(16)	-20%
D	9(8)	4(2)	7(5)	0(0)	20(15)	-25%

Catatan: Angka-angka di luar tanda kurung adalah waktu tempuh semula; angka-angka di dalam tanda kurung adalah waktu tempuh setelah peningkatan transportasi.

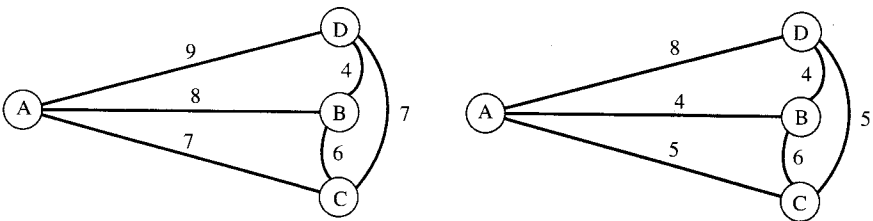
Setiap titik (*A, B, C, D*) mewakili sebuah pusat aktivitas, dan setiap penghubung (misalnya *AB, BC*) mewakili waktu tempuh dalam menit (lihat Gambar 3-E1). Peningkatan transportasi diimplementasikan pada tiap penghubung sedemikian rupa sehingga waktu tempuh berkurang. Apa pengaruh peningkatan transportasi terhadap pusat-pusat aktivitas (tata-guna lahan)? (Waktu tempuh setelah peningkatan ditulis di dalam tanda kurung.)

Jawaban

Matriks di atas memperlihatkan waktu perjalanan sebelum dan setelah peningkatan transportasi. Jumlah baris adalah ukuran aksesibilitas pada setiap titik. Dapat dilihat bahwa semakin kecil waktu tempuh berarti semakin besar aksesibilitasnya. Pada seluruh kasus, terdapat pengurangan waktu tempuh: *A*, -18%; *B*, -31%; *C*, -20%; dan *D*, -25%. Tampak jelas bahwa pusat aktivitas *B* mempunyai keuntungan yang paling banyak, diikuti oleh *D*, *C*, dan *A*.

Contoh 2

Sebuah pusat kota (*D*) dihubungkan dengan jalan-jalan arteri ke pusat aktivitas/pemukiman *A, B*, dan *C* dan antara satu jalan dengan lainnya dengan waktu tempuh diperlihatkan pada penghubung (*link*). Jalan arteri semakin padat, terlihat dari waktu tempuh (dalam menit)



Gambar 3-E1 Jaringan untuk Contoh 1.

yang meningkat, seperti diperlihatkan pada Gambar 3-E2, dan hampir semua pusat komersial dan bisnis yang terletak di pusat kota akan membangun pusat percabangan di *A*, *B*, dan *C*. Pusat aktivitas manakah yang cenderung paling makmur? Apa tindakan yang mungkin dilakukan di bagian kota ini yang akan meningkatkan pusat kota?

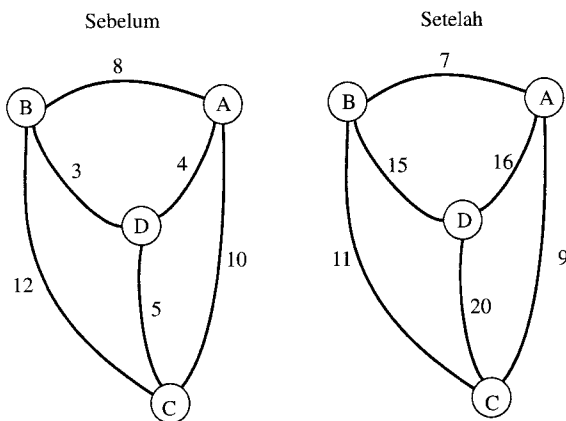
Dari	Ke	Pusat Kegiatan			Pusat Kota	Σ	Perubahan
		<i>A</i>	<i>B</i>	<i>C</i>			
<i>A</i>		0(0)	8(7)	10(9)	4(16)	22(32)	45%
<i>B</i>		8(7)	0(0)	12(11)	3(15)	23(33)	43%
<i>C</i>		10(9)	12(11)	0(0)	5(20)	27(40)	48%
<i>D</i>		4(16)	3(15)	5(20)	0(0)	12(51)	325%

Catatan: Angka-angka di luar tanda kurung adalah waktu tempuh semula; angka-angka di dalam tanda kurung adalah waktu tempuh setelah peningkatan transportasi.

Jawaban

Pusat-pusat aktivitas *A*, *B*, dan *C* seluruhnya cenderung mendapatkan keuntungan yang sama, terlihat dari perbedaan antara 43, 45, dan 48 yang tidak signifikan. Pusat kota sudah dipastikan memburuk dengan cepat. Cara yang mungkin dilakukan untuk menyelamatkan pusat kota adalah mengurangi waktu tempuh dengan cara meningkatkan arus lalu lintas di jalan-jalan arteri atau menerapkan sistem bis kota yang akan mempercepat waktu tempuh ke pusat-pusat aktivitas.

Aksesibilitas perorangan biasanya diukur dengan cara menghitung jumlah lokasi kegiatan (disebut juga *peluang-opportunity*) yang tersedia pada jarak tertentu dari rumah orang tersebut dan memfaktorkan jumlah tersebut dengan jarak di antaranya. Perhitungan aksesibilitas dapat dilakukan untuk berbagai jenis peluang, seperti belanja atau bekerja. Salah satu perhitungan tersebut diberikan oleh:



Gambar 3-E2 Jaringan untuk Contoh 2.

$$A_i = \sum_j O_j d_{ij}^{-b} \quad (1)$$

di mana

A_i = aksesibilitas orang i

O_i = jumlah peluang pada jarak d dari rumah orang i

d_{ij} = beberapa ukuran rentang antara i dan j (seperti waktu tempuh, biaya perjalanan, atau hanya jarak saja)

b = sebuah konstanta

Indeks aksesibilitas seperti ini merupakan ukuran dari seberapa banyak tujuan potensial yang tersedia bagi seseorang dan semudah apa orang tersebut dapat mencapainya. Aksesibilitas suatu tempat dari tempat-tempat lainnya di dalam suatu kota dapat diukur dengan cara yang sama, di mana dalam kasus ini A_i adalah aksesibilitas dari zona i .

Contoh 3

Sebuah kota kecil mempunyai tiga daerah pemukiman R_1 , R_2 , dan R_3 dengan masing-masing 1500, 2000, dan 2500 pekerja, dan dua zona tempat bekerja E_1 dan E_2 dengan masing-masing 2000 dan 4000 peluang kerja. Waktu tempuh antar zona (dalam menit) disajikan pada tabel. Tentukan aksesibilitas zonal aktual dan relatif dari daerah-daerah pemukiman tersebut dengan asumsi bahwa $b = 1,0$.

$\begin{matrix} d \\ o \end{matrix}$	1	2	R_o
1	10	12	1500
2	7	9	269000
3	6	8	2500
E_d	2000	4000	6000

Jawaban

$$A_o = \sum_d \frac{E_d}{t_{od}^b} \quad (2)$$

di mana

$d = 1, 2; o = 1, 2, 3$

E_d = jumlah pekerjaan di zona d

t_{od}^b = fungsi waktu-tempuh

$$A_1 = \frac{2000}{10} + \frac{4000}{12} = 200 + 333 = 533$$

$$A_2 = \frac{2000}{7} + \frac{4000}{9} = 286 + 444 = 730$$

$$A_3 = \frac{2000}{6} + \frac{4000}{8} = 333 + 500 = 833$$

$$\text{Total} = 2096$$

dan aksesibilitas relatif-nya adalah

$$A_1 = \frac{533}{2096} = 0,25$$

$$A_2 = \frac{730}{2096} = 0,35$$

$$A_3 = \frac{833}{2096} = 0,40$$

$$\text{Total} = 1,00$$

Pembahasan

Di sini aksesibilitas setiap orang yang tinggal di zona tertentu disatukan, sehingga kita tidak dapat membedakan kelompok-kelompok orang yang ada di zona tersebut, seperti misalnya kelompok orang yang memiliki mobil dan yang tidak; sebagai contoh 1.500 pekerja yang tinggal di daerah R_1 diasumsikan semuanya memiliki mobil dan mencapai daerah E_1 dalam waktu 10 menit. Kemampuan seseorang untuk mencapai lokasi-lokasi yang berbeda di dalam suatu kota tidak hanya bergantung pada lokasi relatif dari tempat-tempat tersebut, tapi juga bergantung pada mobilitas (kemampuan untuk bergerak ke tempat aktivitas) dan sistem transportasi yang ada.

5.2 Teori Lokasi

Teori tentang lokasi aktivitas, khususnya pemukiman, telah dikembangkan pada tahun 1960-an oleh beberapa ilmuwan perwilayahan. Dengan mengambil contoh-contoh dari ekonomi lahan pertanian, kita dapat memastikan bahwa penggunaan spesifik suatu lahan adalah fungsi dari jaraknya terhadap pasar, dengan asumsi bahwa terdapat satu pasar yang terletak di pusat suatu daerah yang tidak memiliki fitur. Penggunaan spesifik suatu lahan pada suatu lokasi akan bergantung pada tarif sewanya (L), menurut persamaan

$$L = E(p - a) - Efk \quad (3)$$

di mana

E = hasil per satuan lahan

p = harga pasar per satuan komoditas di lokasi

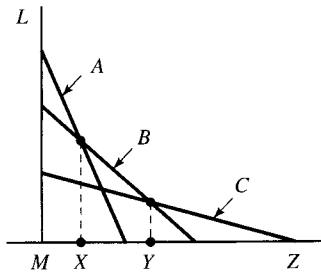
a = biaya produksi per satuan komoditas di lokasi

f = biaya transportasi per satuan per satuan jarak

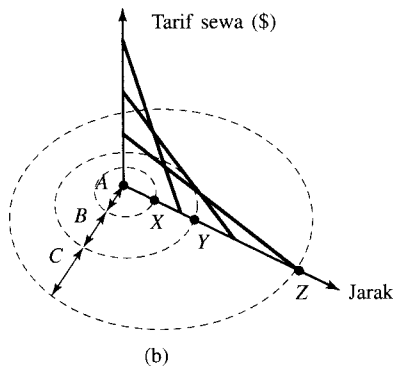
k = jarak ke pasar

Perhatikan pula bahwa untuk komoditas tertentu, k adalah satu-satunya variabel. Efk , biaya transportasi total, meningkat dengan bertambahnya jarak, dan $E(p - a)$ adalah sebuah konstanta untuk tanaman tertentu. Pada jarak tertentu $E(p - a)$ sama dengan Efk , dan jarak ini disebut margin sewa-nol; tanaman tertentu yang tumbuh pada jarak yang lebih jauh akan tidak layak secara ekonomis.

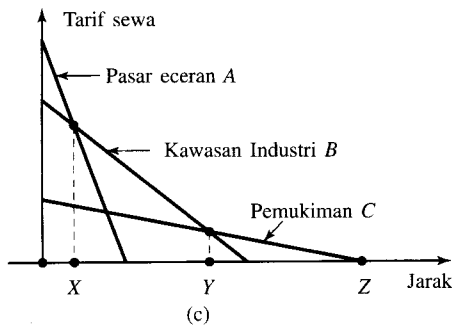
Gambar 3-3(a), memperlihatkan kurva tarif-sewa untuk tiga komoditas hipotetis. Para petani biasanya memilih tanaman (atau komoditas) yang memiliki tingkat keuntungan paling tinggi pada lahan mereka. Kurva tarif-sewa untuk tanaman A dan B saling berpotongan pada jarak X dari pasar M , yang berarti bahwa pilihan yang paling menguntungkan adalah menanam tanaman A di sebelah kiri titik X . Demikian pula, tanaman B paling menguntungkan apabila ditanam di antara titik X dan Y , dan tanaman C apabila ditanam di antara titik Y dan Z . Gambar 3-3(b), memperlihatkan ini dalam tiga dimensi.



(a) Daerah



(b)



(c)

Gambar 3-3 Tarif Sewa versus Jarak dari Pusat Pasar. (a) Penyebaran Tanaman; (b) Tampilan Tiga-Dimensional dari Penyebaran Tanaman; (c) Penyebaran Tata-guna Lahan.

Alonso telah menggunakan teori von Thünen dalam konteks wilayah perkotaan, dengan membuat sederetan zona-zona tata-guna lahan dari perpotongan kurva-kurva tarif-sewa yang berbeda. Dengan mengasumsikan bahwa sebuah kota mempunyai satu daerah pusat bisnis di mana seluruh pekerjaan berada dan bahwa seluruh biaya transportasi berhubungan secara linier dengan jarak dari DPB, maka kurva tarif-sewa dan pola tata-guna lahan terkait dapat digambarkan dalam tiga tipe tata-guna lahan wilayah perkotaan: pasar eceran, kawasan industri, dan pemukiman, seperti diperlihatkan pada Gambar 3-3(c). Perhatikan bahwa daerah pemukiman memiliki garis yang paling rendah dari ketiga garis yang ada, dengan masing-masing pemilik rumah membuat pilihan yang memaksimalkan kepuasan mereka. Sebagai contoh, si miskin dengan pendapatan yang minim, menggunakan sepetak lahan kecil di dekat pusat kota, di mana biaya transportasinya rendah. Sebaliknya, si kaya, dengan penghasilan yang lebih besar, mengeluarkan biaya sewa yang sama dengan si miskin di pinggir kota, tetapi masih mampu membayar biaya transportasi yang lebih tinggi untuk jarak yang lebih jauh dari pusat kota.

Contoh 4

Sebuah kota konsentris dengan sebuah pasar di pusat kotanya bermaksud memproduksi empat jenis tanaman, *A* sampai *D*, yang karakteristiknya dinyatakan dalam dollar:

	<i>A</i>	<i>B</i>	<i>C</i>	<i>D</i>
Harga di lokasi per produk	120	100	80	50
Biaya produksi per produk	20	25	10	10
Harga bersih di lokasi per produk	100	75	70	40
Biaya transportasi per produk	20	10	7	3,33

Gambarlah hasil Anda, dan sebutkan tanaman mana yang seharusnya diproduksi pada jarak yang optimal dari pusat kota, dan distribusinya. Apakah implikasi dari teori ini untuk perencanaan transportasi dan perencanaan kota dalam konteks penyewaan, biaya perumahan, dan jarak dari pusat kota?

Jawaban

Lihat Persamaan (3),

$$L = E(p - a) - Efk$$

$$= (p - a) - fk$$

$$\text{Tanaman A: } L = (120 - 20) - 20 k$$

$$= 100 - 20 k$$

$$\text{Tanaman B: } L = (100 - 25) - 10 k$$

$$= 75 - 10 k$$

$$\text{Tanaman C: } L = (80 - 10) - 7 k$$

$$= 70 - 7 k$$

$$\text{Tanaman D: } L = (50 - 10) - 3,33 k$$

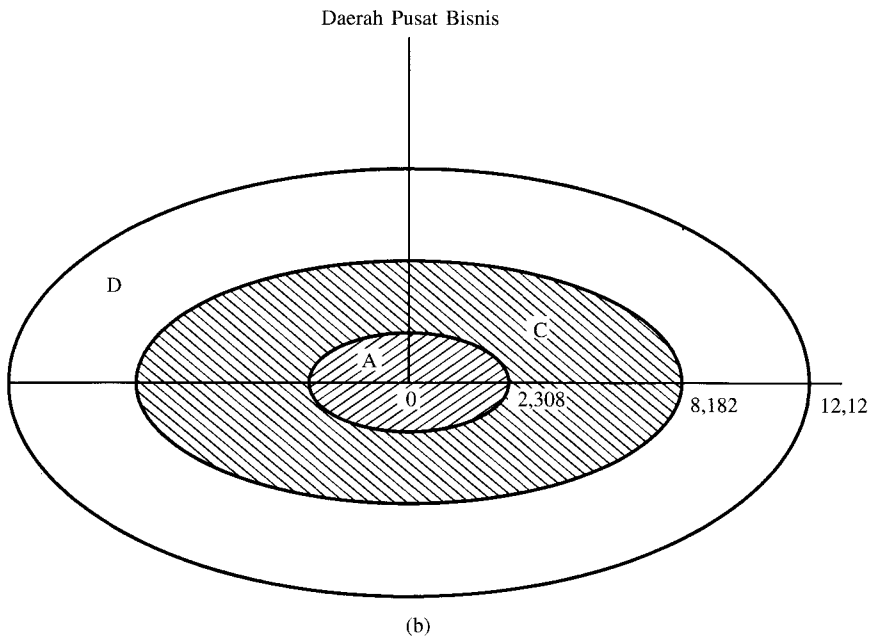
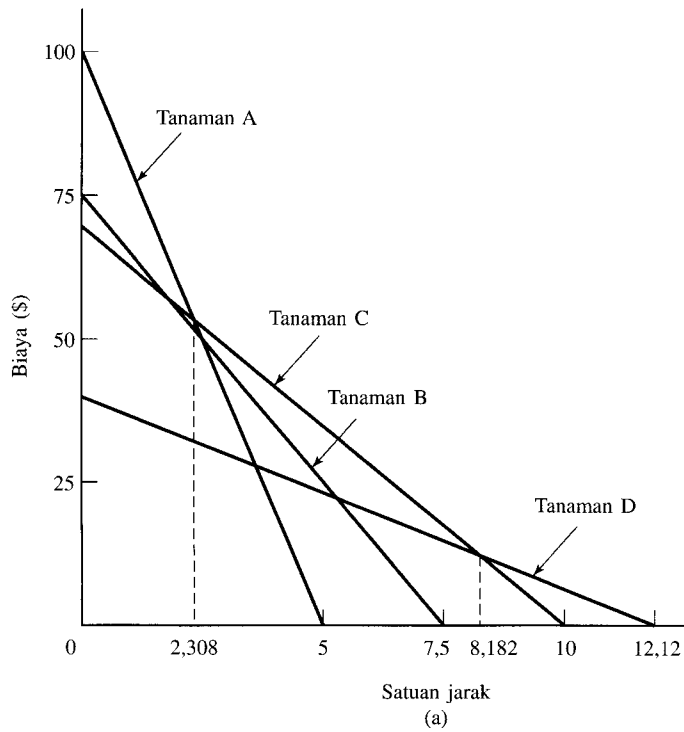
$$= 40 - 3,33 k$$

Keempat persamaan di atas merepresentasikan tanaman-tanaman *A*, *B*, *C*, dan *D*, dan dengan membuat persamaan secara berpasangan akan menghasilkan jarak 2,308; 8,182; dan 12,12 mil yang menyatakan radius dari pusat kota ke tempat-tempat penanaman yang paling menguntungkan untuk tumbuhan *A*, *C*, dan *D*, secara berurutan. Perhatikan pula bahwa tanaman *B* tidak menguntungkan untuk ditanam. Gambar 3-E4 mengilustrasikan lingkaran konsentris di mana berbagai tumbuhan ditanam. Lihatlah Gambar 3-E4(a), di mana sumbu vertikal merepresentasikan keuntungan dan sumbu horizontal merepresentasikan jarak. Jarak dari pasar ketika keuntungan = 0 diperlihatkan sebagai berikut:

<i>A</i>	<i>B</i>	<i>C</i>	<i>D</i>
$\frac{100}{20} = 5$	$\frac{75}{10} = 7,5$	$\frac{70}{7} = 10$	$\frac{40}{3,33} = 12,12$

Gambar 3-E4 memperlihatkan bahwa dari sudut pandang ekonomi:

1. Tanaman *A* sebaiknya ditanam mulai dari pusat kota hingga sejauh 2,308 satuan jarak dari pasar.



Gambar 3-E4 Jawaban untuk Contoh 4: (a) Jarak versus Biaya; (b) Kota Konsentris dengan Satu Daerah Pusat Bisnis.

2. Tanaman *C* sebaiknya ditanam mulai dari di mana *A* berhenti (2,308 satuan jarak) hingga sejauh 8,182 satuan jarak dari pasar.
3. Tanaman *D* sebaiknya ditanam mulai dari di mana *C* berhenti (8,182 satuan jarak) hingga sejauh 12,12 satuan jarak dari pasar.
4. Tanaman *B* tidak perlu ditanam sama sekali, karena tidak akan menguntungkan.

Contoh 4 mengilustrasikan bahwa biaya transportasi adalah faktor yang sangat penting: semakin jauh dari pasar suatu tanaman ditanam, semakin besar pula biaya yang diperlukan untuk membawa tanaman ke pasar. Menurut *teori penyewaan (rent theory)*, biaya sewa atau biaya lahan berbanding terbalik dengan jarak lahan dari daerah pusat bisnis. Dengan menggabungkan dua fenomena sebelumnya, kita dapat menggambar lokasi-lokasi di mana tanaman dapat ditanam paling ekonomis.

5.3 Akibat-akibat Pembagian Zona

Aktivitas, manusia, dan lokasi semuanya berinteraksi dengan cara yang sedemikian rupa sehingga setiap orang berharap dapat memaksimalkan lokasi tempat tinggalnya. Setiap orang mempunyai alasan untuk tinggal di tempat yang mereka kehendaki. Bisnis dan industri juga mempunyai pilihan lokasi. Pilihan lokasi ini menghasilkan pola-pola konsentrasi. Para ahli perencanaan tata-guna lahan mengatur kesesuaian antara pola-pola tata-guna lahan melalui pembagian daerah dan berbagai regulasi lainnya.

Sebuah contoh akan menjelaskan persoalan ini. Diumpamakan sebuah kota kecil mempunyai beberapa petak lahan, di mana masing-masing lahan dimiliki oleh seseorang yang bebas untuk menjual lahannya kepada penawar tertinggi. Orang dapat membeli lahan-lahan tersebut di pasar terbuka. Penjualan pasar bebas seperti ini, bagaimanapun, dapat menghasilkan tata-guna lahan yang tidak sesuai. Sebagai contoh, sebidang lahan mungkin dijual kepada seseorang yang hendak membangun sebuah industri kecil yang letaknya bersebelahan dengan kompleks perumahan. Untuk mencegah segala bentuk gangguan, kebanyakan komunitas membuat aturan-aturan pembagian zonanya untuk mengatur tata-guna lahan.

5.4 Nilai Lahan

Sebuah persamaan sederhana tentang nilai lahan dapat dinyatakan dalam sebuah fungsi linier sebagai berikut:

$$LV_i = a - bD_i$$

di mana LV adalah nilai lahan, D adalah jarak dari DPB, dan a dan b adalah konstanta.

Sebuah persamaan yang agak lebih rumit dapat dinyatakan dalam sebuah fungsi pangkat sebagai berikut:

$$LV_i = aD_i^{-b}$$

di mana nilai lahan menurun dengan tingkat penurunan yang semakin rendah. Pada kedua persamaan di atas, faktor yang tidak diketahui dapat ditentukan dengan analisis regresi.

Persamaan-persamaan nilai lahan untuk daerah metropolitan bisa saja cukup rumit. Sebagai contoh, model konseptual untuk sebuah kota besar yang terletak di pinggir pantai mempunyai persamaan sebagai berikut:

$$LV_i = a - b_1C_i - b_2M_i - b_3E_i - b_4S_i$$

di mana LV_i adalah nilai lahan pada lokasi i ; C_i adalah jarak dari DPB; M_i adalah jarak dari garis pantai; E_i adalah jarak dari stasiun kereta api bawah tanah terdekat; dan S_i adalah jarak dari pusat perbelanjaan terdekat. Persamaan-persamaan lain yang serupa dengan persamaan di

atas juga menggunakan beberapa variabel seperti aksesibilitas, sarana hiburan, dan unsur-unsur topografis.

6. TATA-GUNA LAHAN DAN TRANSPORTASI

Pergerakan manusia dan barang di sebuah kota, disebut *arus lalu-lintas (traffic flow)*, merupakan konsekuensi gabungan dari aktivitas lahan (permintaan) dan kemampuan sistem transportasi dalam mengatasi masalah arus lalu-lintas (penawaran) ini. Biasanya, terdapat interaksi langsung antara jenis dan intensitas tata-guna lahan dengan penawaran fasilitas-fasilitas transportasi yang tersedia. Salah satu tujuan utama perencanaan setiap tata-guna lahan dan sistem transportasi adalah untuk menjamin adanya keseimbangan yang efisien antara aktivitas tata-guna lahan dengan kemampuan transportasi (Blunden dan Black, 1984; ASCE, 1986).

Hubungan antara transportasi dan pengembangan lahan dapat dijelaskan dalam tiga konteks berikut ini: (1) hubungan fisik dalam skala makro, yang memiliki pengaruh jangka panjang dan umumnya dianggap sebagai bagian dari proses perencanaan; (2) hubungan fisik dalam skala mikro, yang memiliki pengaruh jangka-pendek dan jangka-panjang dan umumnya dianggap sebagai masalah desain wilayah perkotaan (seringkali pada skala lokasi-lokasi atau fasilitas-fasilitas tertentu); dan (3) hubungan proses, yang berhubungan dengan aspek hukum, administrasi, keuangan, dan aspek-aspek institusional tentang pengaturan lahan dan pengembangan transportasi.

Wilayah-wilayah perkotaan dari tahun ke tahun telah berubah sebagai akibat terjadinya pergeseran yang dramatis dari lahan pertanian menjadi daerah bisnis. Daerah-daerah tersebut saat ini menjadi pusat-pusat kegiatan finansial dan peluang-peluang bisnis yang ekstensif yang kompleksitas dan diversitasnya mengalami siklus perubahan akibat beragam pengaruh sosial dan ekonomi. Karakteristik fisik mereka mulai berubah cepat dengan adanya hubungan waktu dan jarak yang baru berkat perjalanan yang semakin cepat dan komunikasi elektronik yang murah.

Dewasa ini lebih banyak orang dan persentase terbesar populasi total yang tinggal di wilayah perkotaan tetapi dalam kelompok yang lebih kecil dari sebelumnya. Penyebaran penduduk saat ini menimbulkan masalah-masalah baru seperti dampak jangka panjangnya pada efektivitas transportasi. Sebagaimana telah dibahas sebelumnya, tata-guna lahan dan transportasi membentuk lingkaran tertutup. Seperti kebanyakan sistem keseimbangan lainnya, konfigurasi tata-guna lahan/transportasi pada akhirnya akan stabil.

Potensi tata-guna lahan adalah satu ukuran dari skala aktivitas sosioekonomi yang terjadi pada suatu lahan tertentu. Ciri khas dari tata-guna lahan adalah kemampuan atau potensinya untuk “membangkitkan” lalu lintas. Dengan demikian, sudah sewajarnya apabila kita menghubungkan potensi tata-guna lahan dari sepetak lahan, yang memiliki aktivitas tertentu, untuk membangkitkan sejumlah tertentu arus lalu lintas per hari.

Tabel 3-3 menyajikan contoh-contoh khusus mengenai potensi tata-guna lahan. Perhatikan bahwa pembangkitan lalu-lintas adalah suatu fenomena yang dinamis dan intensitas dari pembangkitan lalu-lintas dapat dinyatakan sebagai fungsi dari waktu dan ruang. Dalam pengertian yang umum, tata-guna lahan berarti distribusi ruang atau pola geografis dari kota: daerah pemukiman, kawasan industri, daerah komersial, daerah bisnis eceran, dan lahan yang disiapkan untuk tujuan-tujuan pemerintahan, institusional, dan rekreasional. Jika manfaat lahan di setiap daerah untuk suatu kota telah diketahui, maka ini memungkinkan kita untuk memperkirakan lalu lintas yang dihasilkan (Blunden dan Black, 1984).

Bangkitan perjalanan menyediakan hubungan antara tata-guna lahan dan perjalanan. Tata-guna lahan untuk tujuan membangkitkan perjalanan biasanya dijelaskan dalam bentuk intensitas tata-guna lahan, ciri-ciri tata-guna lahan, dan lokasi di dalam lingkungan perkotaan.

TABEL 3-3 Contoh-contoh Potensi Tata-guna Lahan

Jenis Lahan/ Aktivitas	Ukuran
Pemukiman	Penduduk, unit-unit perumahan
Pabrik-pabrik	Daerah, jumlah buruh
Perkantoran	Daerah, jumlah karyawan
Gedung-gedung Pertunjukan	Kapasitas tempat duduk
Perhotelan	Jumlah kamar, lantai
Pusat Perbelanjaan	Pedagang eceran, karyawan

Contoh 5

Data untuk perjalanan belanja ke lokasi perbelanjaan di berbagai daerah dalam sebuah kota dapat dilihat pada tabel di bawah ini. Hitunglah tingkat perjalanan belanja berdasarkan tipe lokasinya, dan uraikan jawaban Anda.

Zona	Jenis Lokasi	Jumlah Karyawan	Jumlah Perjalanan Belanja
1	DPB	3.000	7.200
2	DPB	1.400	2.500
3	Pusat Perbelanjaan 1	600	6.000
4	Pusat Perbelanjaan 2	1.400	12.000
5	Pusat lokal	15	50
6	Pusat lokal	50	140
7	Pusat lokal	85	300
8	Pusat lokal	105	380

Jawaban

$$\text{DPB} = \frac{7200 + 2500}{3000 + 1400} = 2,205 \text{ perjalanan belanja/karyawan}$$

$$\text{Pusat perbelanjaan: } \frac{6000 + 12000}{3000 + 1400} = 9,0 \text{ perjalanan belanja/karyawan}$$

$$\text{Pusat lokal: } \frac{50 + 140 + 300 + 380}{15 + 50 + 85 + 105} = 3,41 \text{ perjalanan belanja/karyawan}$$

Pembahasan

Perjalanan belanja per karyawan untuk pusat-pusat perbelanjaan adalah yang tertinggi, diikuti oleh pasar lokal dan DPB. Analisis yang dilakukan tidak perlu terikat dengan zona, tetapi dapat dilakukan secara individual. Sebagai contoh, ciri-ciri pusat perbelanjaan 1 mungkin sangat berbeda dengan pusat perbelanjaan 2. Di sini jenis-jenis lokasi tersebut telah disatukan dan penyatuan ini dapat menyembunyikan hasilnya.

Sistem tata-guna lahan/transportasi dapat direpresentasikan oleh suatu susunan spasial berupa lahan-lahan yang ditempatkan di atas suatu jaringan yang merepresentasikan sistem transportasi. Sistem tersebut diperlihatkan pada Gambar 3-4 dalam bentuk diagram. Perhatikanlah

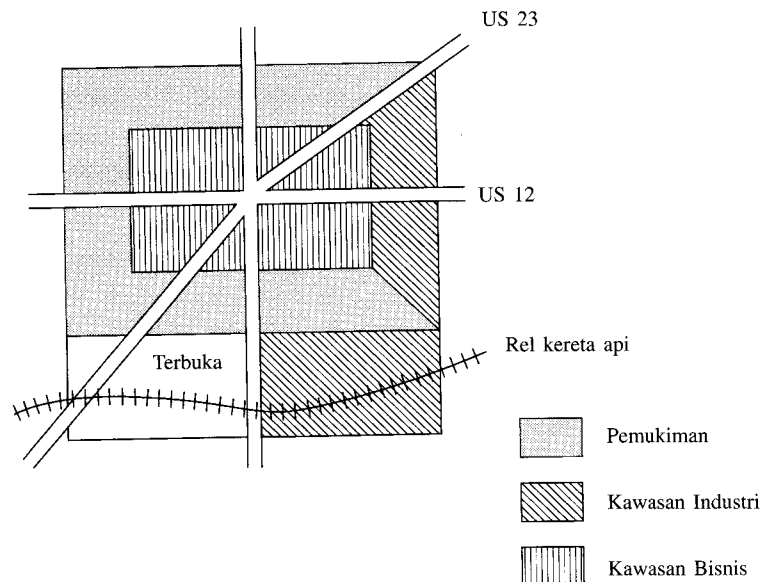
bahwa zona-zona tata-guna lahan harus menjelaskan secara ideal suatu daerah aktivitas tata-guna lahan yang homogen—pemukiman, komersial, industri, dan sebagainya.

Transportasi adalah permintaan turunan—artinya, seseorang biasanya melakukan perjalanan bukan hanya dengan tujuan untuk melakukan perjalanan semata melainkan untuk tujuan yang tertentu seperti pergi bekerja, atau pergi belanja, atau pergi ke sekolah, dan sebagainya. Umumnya, perjalanan dilakukan untuk tujuan yang “menguntungkan”. Kadangkala istilah “untung” bisa saja sesuatu yang tidak terlihat. Antara 10% sampai 25% dari pendapatan seseorang dikeluarkan untuk transportasi dan kemungkinan keuntungan yang diperoleh akan membenarkan alasan ia melakukan tindakan tersebut.

Analisis tata-guna lahan merupakan cara praktis untuk mempelajari aktivitas-aktivitas yang menyebabkan terjadinya pembangkitan perjalanan karena pola perjalanan (rute dan arus lalu-lintas) dipengaruhi oleh jaringan transportasi dan pengaturan tata-guna lahan. Harus diingat bahwa perjalanan adalah peristiwa yang menghubungkan tempat asal (misalnya rumah seseorang) dan suatu tempat tujuan (misalnya tempat bekerja). Ini dilakukan dengan cara berjalan melalui suatu rute tertentu, yang memiliki jarak tertentu (dalam mil) dan memerlukan waktu tertentu (dalam menit).

Sebuah contoh tentang tujuan perjalanan dan tingkat pembangkitan perjalanan berdasarkan jenis tata-guna lahan untuk sebuah kota metropolitan disajikan pada Tabel 3-4. Perhatikanlah bahwa pemukiman, kawasan industri, dan lahan publik menghasilkan perjalanan dengan tingkat rata-rata yang hampir sama, sementara daerah komersial menghasilkan perjalanan dengan tingkat sekitar empat kali lebih besar.

Tabel 3-5 memperlihatkan karakteristik perjalanan kerja untuk dua lokasi kerja yang umumnya terdapat di suatu wilayah perkotaan. Tabel ini memperlihatkan pengaruh relatif dari masing-masing komponen. Tabel 3-6 memperlihatkan panjang perjalanan rata-rata tipikal dari perjalanan orang menurut jenis tata-guna lahan.



Gambar 3-4 Perencanaan Tata-guna Lahan/Transportasi Tipikal.

TABEL 3-4 Tujuan Perjalanan dan Bangkitan Perjalanan (Sebuah Contoh)

Jenis Tata-guna Lahan	Tujuan Perjalanan Perorangan (juta)	Luas (mil ²)	Tujuan Perjalanan Perorangan per mil ²
Pemukiman	5,606	180,6	31.000
Kawasan industri	0,779	24,7	31.600
Transportasi	0,280	50,7	5.500
Kawasan bisnis	2,449	21,1	116.000
Bangunan publik	0,782	23,1	33.800
Ruang/terbuka	0,315	114,9	2.700
Total	10,212	415,1	220.600

TABEL 3-5 Karakteristik Umum Perjalanan Kerja di dalam Sebuah Kota (Sebuah Contoh)

Item	Perjalanan DPB		Perjalanan di Pinggir Kota	
	Pribadi	Umum	Pribadi	Umum
Panjang jarak (mil)	6	7	8	9
Kecepatan rata-rata (mil/jam)	20	10	30	15
Waktu perjalanan (menit)	18	42	16	36
Waktu akses dan waktu tunggu (menit)	5	15	3	20
Biaya perjalanan (\$/mil)	0,70	0,20	0,65	0,20
Nilai Waktu (\$/jam)	1,00	1,00	1,00	1,00
Biaya parkir (\$/jam)	1,00	–	0,25	–

TABEL 3-6 Panjang Perjalanan Rata-rata dari Perjalanan Orang Berdasarkan Jenis Tata-guna Lahan

Tata-guna Lahan	Panjang Perjalanan Rata-rata (mil)
Pemukiman	4,3
Kawasan industri	5,1
Kawasan bisnis	
Pasar eceran	3,1
Bisnis jasa	4,8
Pasar grosir	5,9
Bangunan publik	3,6
Ruang terbuka publik	4,5
Seluruh tata-guna lahan	4,3

7. PERTUMBUHAN ATAU PENURUNAN WILAYAH PERKOTAAN

Kita perlu memahami hubungan-hubungan sebab-akibat, tanggapan-tanggapan, dan interaksi-interaksi yang mungkin terjadi antar berbagai sektor dalam suatu kota (atau wilayah perkotaan), khususnya antara elemen tata-guna lahan dan elemen transportasi. Pertumbuhan dan penurunan wilayah perkotaan merupakan hasil dari interaksi yang kompleks ini.

Harus disadari bahwa transportasi dari sisi pembangunan ekonomi adalah permintaan turunan dan dengan demikian bergantung pada pembangunan sektor-sektor ekonomi lainnya.

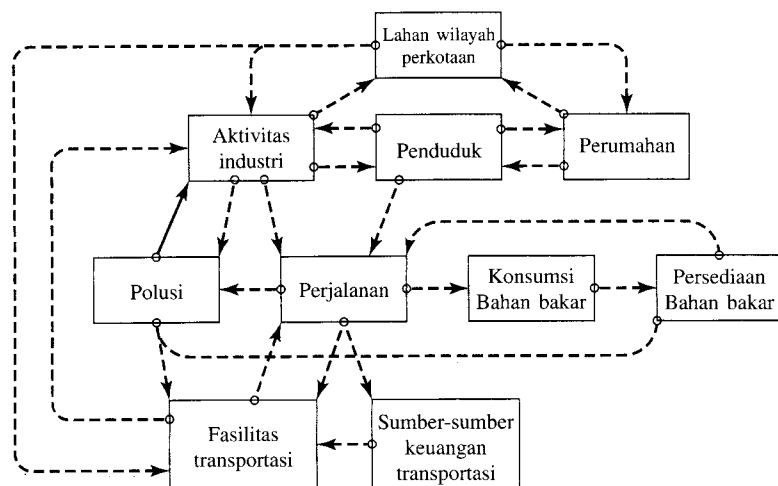
Tujuan utama dari perencanaan transportasi adalah menyediakan pergerakan yang harus dilakukan oleh manusia dan barang dengan biaya serendah mungkin.

Sebuah diagram sederhana (Gambar 3-5) menjelaskan hubungan atau saling ketergantungan di dalam sistem wilayah perkotaan. Diagram ini memperlihatkan bahwa setiap alokasi finansial untuk meningkatkan fasilitas transportasi di dalam suatu wilayah perkotaan pada akhirnya akan berdampak bagi wilayah itu sendiri. Diagram ini juga memperlihatkan bahwa ketersediaan lahan perkotaan pada akhirnya akan membatasi pertumbuhan wilayah perkotaan.

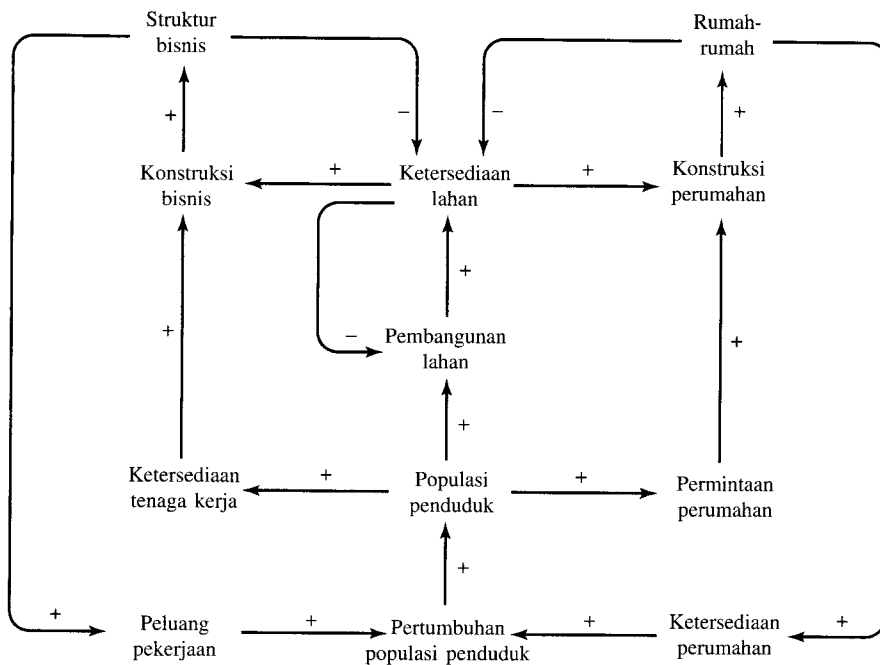
Gambar 3-6 memperlihatkan kerangka kerja dari sektor sosioekonomi. Perhatikan situasi sebagai berikut: semakin banyak lahan yang disediakan untuk pengembangan bisnis di pusat kota, bisnis akan meningkat, dan struktur-struktur bisnis pun meningkat, yang pada gilirannya akan meningkatkan peluang kerja dan memberikan dampak positif bagi masyarakat. Dan yang terakhir, peningkatan populasi akan mendorong pengembangan lahan.

8. KARAKTERISTIK-KARAKTERISTIK PREDIKSI DAN RENCANA TATA-GUNA LAHAN

Rencana-rencana alternatif tata-guna lahan dan transportasi biasanya diusulkan dan dipersiapkan untuk kota karena hanya setelah beberapa pilihan yang berbeda telah dikaji sajalah baru kita bisa memilih rencana kota yang realistis. Ada kombinasi-kombinasi tertentu antara pola tata-guna lahan dan sistem transportasi yang memiliki keuntungan signifikan dari sisi efisiensi. Masyarakat dan wakil-wakilnya dapat melihat alternatif-alternatif tersebut dan mengetahui keuntungan-keuntungannya. Alternatif-alternatif tersebut didasarkan pada konsep-konsep bentuk-rencana, seperti kota radial, kota linier, atau kota memusat (*nucleated*). Bentuk-bentuk rencana ini juga memuat kebijakan-kebijakan yang berkaitan dengan lokasi dan kepadatan lahan. Konsep perencanaan ini dikembangkan dan disempurnakan lebih jauh sehingga mencapai tahap di mana rencana tersebut dapat digunakan untuk mendistribusikan total penduduk dan total sosioekonomi yang diperoleh dari luar melalui perhitungan manual atau komputer (Khisty, 1977).



Gambar 3-5 Transportasi di dalam Sistem Wilayah Perkotaan (Budhu dan Grisson, 1985).



Gambar 3-6 Transportasi dan Sektor Sosioekonomik (Budhu dan Grisson, 1985).

8.1 Klasifikasi Model-model Tata-Guna Lahan

Model-model tata-guna lahan dapat diklasifikasikan dengan banyak cara dilihat dari kecanggihannya. Tingkat 1, kecanggihannya yang paling rendah, melibatkan pembentukan pola-pola fisik alternatif untuk pengembangan lahan. Model ini tidak mencakup tahapan transportasi dan fasilitas-fasilitas lainnya. Umumnya digunakan metode-metode manual konvensional untuk mendistribusikan pertumbuhan di dalam daerah yang dipelajari. Dalam model tingkat 2, mulai digunakan konsep sederhana tentang proses pembangunan wilayah perkotaan untuk pengalokasian ruang bagi perumahan dan tempat bekerja bersama dengan pembuatan transportasi dan pembangunan infrastruktur lainnya. Komponen-komponen analitis utama dari prosedur ini adalah, untuk setiap kategori tata-guna lahan, sejumlah persyaratan lokasi dan sejumlah persyaratan ruang. Keputusan ini dibuat oleh para analis, berdasarkan prinsip-prinsip dan standar-standar tertentu, pengetahuan khusus tentang kondisi-kondisi lokal, dan apa saja yang dianggap terbaik bagi kepentingan publik. Tahap selanjutnya adalah dimulainya penggunaan beberapa rumusan matematis seperti persamaan regresi.

Model tingkat 3 menerapkan penggunaan yang lebih canggih terhadap konsep-konsep proses pembangunan, termasuk spesifikasi kebijakan yang cakupannya lebih luas. Model pada level ini umumnya disebut *pendekatan simulasi pasar*. Pola dasar dari sistem model ini dikembangkan pada awal 1960-an oleh Ira Lowry dari Rand Corporation. Struktur umum model Lowry telah digunakan dalam studi kota metropolitan besar dewasa ini (Khisty, 1977).

8.2 Model-model Pembangunan Tata-Guna Lahan

Perencanaan tata-guna lahan untuk sebuah kota adalah pekerjaan yang rumit. Pada kebanyakan negara demokrasi, lahan adalah salah satu dari antara beberapa alternatif penggunaan terutama dalam pasar swasta dengan aturan publik yang sedang-sedang saja. Hasilnya adalah kota yang

berkembang lebih berdasarkan keputusan-keputusan lokasional yang dibuat oleh sejumlah besar pengembang dan pembeli swasta, masing-masing berupaya untuk mengedepankan kepentingannya sendiri. Perencanaan tata-guna lahan telah dilakukan oleh para ahli perencanaan untuk memprediksi seakurat mungkin pengaturan ruang bagi penduduk dan aktivitas ekonomi di dalam suatu wilayah (Khisty, 1977).

Model-model tata-guna lahan memiliki dua tujuan utama: (1) memperkirakan aktivitas total di suatu wilayah perkotaan, dan (2) mengalokasikan aktivitas tersebut ke dalam perangkat yang telah ditentukan sebelumnya. Dua model alokasi tata-guna lahan yang sederhana diuraikan pada subbab berikut: model aksesibilitas Hansen dan metode gradien peningkatan kepadatan.

8.3 Model Aksesibilitas Hansen

Model Hansen dirancang untuk memprediksi lokasi populasi berdasarkan premis bahwa pekerjaan adalah faktor yang paling berpengaruh untuk menentukan suatu lokasi (Lee, 1973). Ia mengusulkan penggunaan indeks aksesibilitas, A_{ij} , di mana

$$A_{ij} = \frac{E_j}{d_{ij}^b}$$

di mana

A_{ij} = indeks aksesibilitas zona i terhadap zona j

E_j = total pekerja

d_{ij} = jarak antara i dan j

b = eksponen

Indeks aksesibilitas keseluruhan untuk zona i dengan demikian menjadi

$$A_i = \sum_j \frac{E_j}{d_{ij}^b}$$

Jumlah lahan kosong yang sesuai dan tersedia untuk pemukiman juga merupakan faktor tambahan yang menarik bagi masyarakat untuk mendiami zona tersebut. Hal ini diistilahkan dengan *kapasitas daya-tampung* (H_i). Potensi pembangunan suatu zona D_i kemudian menjadi

$$D_i = A_i H_i$$

dan populasi didistribusikan ke seluruh zona berdasarkan potensi pembangunan relatif $A_i H_i / \sum A_i H_i$. Jika total pertumbuhan populasi di suatu tahun mendatang adalah G_p , maka populasi yang dialokasikan di zona i akan menjadi

$$G_i = G_p \frac{A_i H_i}{\sum A_i H_i} = G_p \frac{D_i}{\sum D_i}$$

Contoh 6

Sebuah kota kecil yang mempunyai tiga zona memiliki karakteristik-karakteristik sebagai berikut:

Zona	Total populasi penduduk saat ini	Kapasitas daya tampung
1	2000	100
2	1000	200
3	3000	300
Total	6000	600

Waktu tempuh (dalam menit) diberikan dalam tabel berikut ini:

Dari i \ Ke j			
	1	2	3
1	2	6	8
2	6	3	5
3	8	5	4

Kita asumsikan eksponen sebesar 2 berdasarkan penelitian yang dilakukan terhadap kota-kota lain yang berukuran sama. Jika populasi kota ini diperkirakan meningkat menjadi 8000 orang pada jangka waktu 20 tahun mendatang, bagaimanakah populasi didistribusikan berdasarkan zonanya? Asumsikan bahwa total pekerjaan di tiap zona berbanding lurus dengan populasi total yang ada di zona tersebut.

Jawaban

Hitunglah A_{ij} dan kemudian A_i .

Zona	1	2	3	$\sum_i A_{ij}$
1	$2000/2^2 = 500$	$1000/6^2 = 28$	$3000/8^2 = 47$	575
2	$2000/6^2 = 56$	$1000/3^2 = 111$	$3000/5^2 = 120$	287
3	$2000/8^2 = 31$	$1000/5^2 = 40$	$3000/4^2 = 188$	259

Kalikan A_i dengan H_i .

Zona	A_i	H_i	$D_i = A_i H_i$
1	575	100	57.500
2	287	200	57.400
3	259	300	77.700
Total			192.600

Hitunglah potensi pembangunan relatif di setiap zona.

Zona	D_i	$\frac{D_i}{\sum D_i}$	G_i
1	57.500	0,299	2,392
2	57.400	0,298	2,384
3	77.700	0,403	3,224
Total	192.600	1,000	8,000

8.4. Metode Gradien Peningkatan-Kepadatan

Metode gradien peningkatan-kepadatan (*density-saturation gradient*, DSG) pertama kali digunakan dalam studi transportasi daerah Chicago (*Chicago Area Transportation Study/CATS*) (Khisty, 1979, 1981). Sejak saat itu, banyak ahli riset yang bekerja berdasarkan metode ini. Tiga acuan empiris digunakan dalam metode ini: (1) intensitas tata-guna lahan menurun ketika jarak atau waktu tempuh ke DPB meningkat; (2) perbandingan jumlah lahan yang digunakan

dengan jumlah lahan yang tersedia menurun ketika jarak dari DPB meningkat; (3) proporsi lahan yang diperuntukkan bagi setiap jenis tata-guna lahan di suatu daerah tetap stabil.

Clark (1951) menurunkan persamaan dasar untuk menyatakan hubungan kepadatan-jarak. Persamaan dasar tersebut adalah

$$d_x = d_0 e^{-bx} \quad (3)$$

di mana

- d_x = kepadatan populasi pada jarak x dari pusat kota
- d_0 = pusat kepadatan yang diprediksi ke dalam DPB kota
- b = gradien kepadatan atau faktor kemiringan
- e = bilangan pokok logaritma natural

Clark membuat asumsi lain yang tidak terdapat di dalam persamaan kepadatan. Dia mengasumsikan bahwa kepadatan pusat kota yang lebih tinggi dan kepadatan pinggiran perkotaan yang lebih rendah akan cenderung menuju keseimbangan seiring berjalannya waktu pada kebanyakan wilayah-wilayah perkotaan. Hal ini didukung oleh hasil-hasil yang diperoleh banyak sensus dewasa ini, yang memperlihatkan kecenderungan kuat menurunnya populasi di DPB dan meningkatnya perpindahan penduduk ke arah pinggiran kota. Observasi ini memperlihatkan bahwa gradien peningkatan-kepadatan adalah fungsi dari usia atau lokasi regional sebuah kota dan dapat ditentukan lewat percobaan.

Kapasitas daya-tampung dinyatakan dengan persamaan berikut:

$$HC_i = P_i + V_i d \quad (4)$$

di mana

- HC_i = kapasitas daya tampung zona i
- P_i = populasi pemukiman yang ada di zona i
- V_i = lahan kosong, tersedia, dan sesuai di zona i
- d = kepadatan rata-rata yang diperkirakan di mana seluruh pengembangan pemukiman di masa mendatang akan terjadi

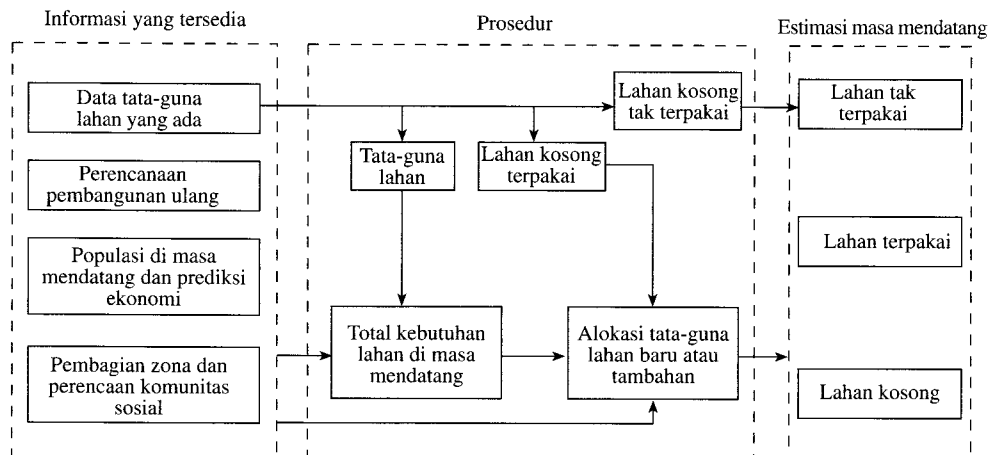
Selain itu,

Persentase peningkatan populasi zona i pada tahun tertentu

$$= 2 \frac{\text{populasi zona } i \text{ pada tahun tertentu}}{\text{kapasitas daya-tampung zona } i} \times 100 \quad (5)$$

Lahan kosong yang sesuai untuk pemukiman diperkirakan dari data untuk daerah-daerah rencana, pembagian zona, dan rencana-rencana pembagian zona. Persentase peningkatan (populasi/pemukiman) berdasarkan tahun diplot terhadap jarak dari pusat kota. Tahap berikutnya adalah proyeksi persentase kurva peningkatan berdasarkan tahun. Ini adalah tahap yang penting dan subjektif. Satu-satunya posisi yang tetap pada kurva proyeksi adalah daerah di bawah kurva baru harus memperhitungkan pertumbuhan regional yang ada ditambah proyeksi pertumbuhan regional. Prediksi total populasi dengan lingkaran-lingkaran analisis ditentukan menggunakan nilai sumbu tegak yang sesuai dari kurva tahun-horizon. Penyebaran total lingkaran ke arah jalur sensus individual dilengkapi dengan pertolongan faktor-faktor pembangunan pemukiman. Gambar 3-7 memperlihatkan gambar diagram alir sederhana dari prosedur perkiraan CATS.

Prosedur umumnya dapat diuraikan sebagai berikut:



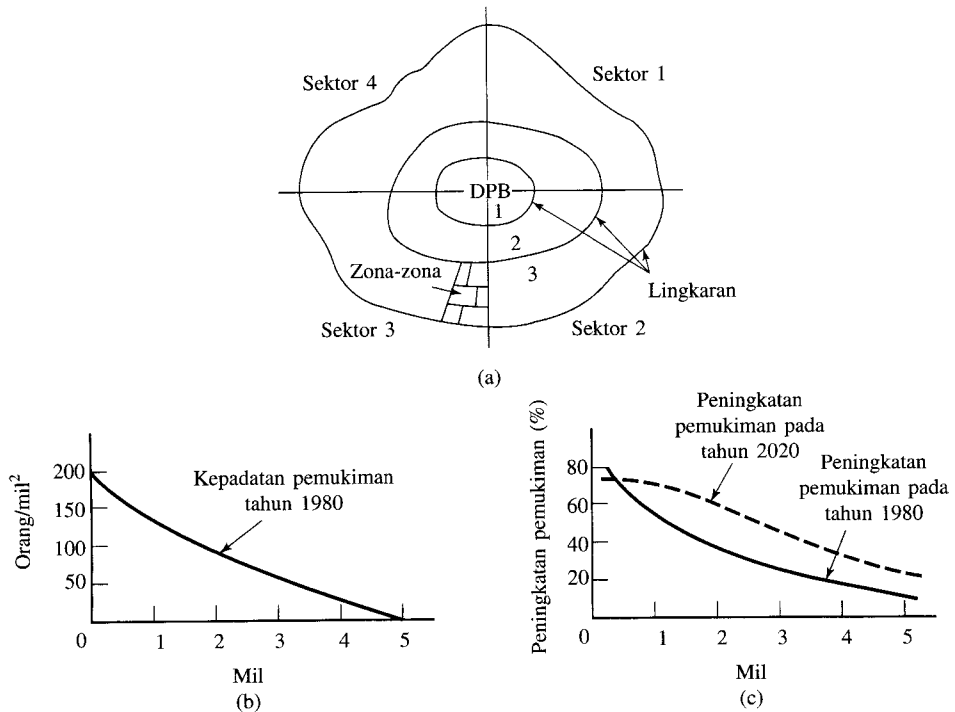
Gambar 3-7 Prosedur Estimasi Tata-Guna Lahan Menurut CATS.

1. Menentukan hubungan antara kepadatan pemukiman dengan jarak dari DPB [Gambar 3-8 (a)].
2. Menentukan persentase peningkatan populasi untuk setiap zona dan mengelompokkan persentase ini dalam lingkaran dan sektor [Gambar 3-8(b)].
3. Menentukan persentase daerah lahan berguna yang tersedia di setiap zona yang dimaksudkan untuk pemukiman. Persentase ini, disebut juga persentase peningkatan pemukiman, diplot terhadap jarak dari DPB [Gambar 3-8(c)].
4. Menghitung total populasi untuk tahun mendatang di kota tersebut. Angka ini ditentukan secara eksogen.
5. Menggambar sebuah kurva yang merepresentasikan kepadatan pemukiman, mirip dengan yang diplot pada tahap 2, sedemikian rupa sehingga luas di bawah kurva berbanding lurus dengan total populasi yang diperoleh dari tahap 4. Ini adalah tahap yang paling penting dan paling subjektif.
6. Membuat prediksi total-total populasi dengan lingkaran analisis. Total-total ini ditentukan dengan membuat skala yang tepat untuk nilai-nilai ordinat dari kurva tahun-horizon.
7. Mendistribusikan total lingkaran menjadi zona-zona individu dengan menimbang secara subjektif daya-tarik setiap zona individu berdasarkan faktor-faktor seperti jarak ke pusat perbelanjaan, jarak ke sistem jalan raya utama atau jalur bis, kapasitas pemukiman, jarak ke sekolah, dan sebagainya.

Contoh 7

Sebuah kota kecil mempunyai struktur umum yang terdiri dari tiga lingkaran, seperti diperlihatkan pada Gambar 3-E7. Salah satu lingkaran mempunyai tiga zona khusus (1, 2, dan 3). Ciri-ciri zona tersebut adalah sebagai berikut.

Populasi yang ada (untuk tahun 1980) untuk masing-masing dari ketiga zona telah diketahui, sebagaimana lahan tambahan yang tersedia untuk pemukiman (dapat dilihat pada kolom 5 dan 2, pada tabel jawaban). Populasi dari ketiga zona ini untuk tahun 2000 telah diperoleh dan diketahui sebesar 6100. Buatlah prediksi populasi dari ketiga zona tersebut dengan menggunakan metode gradien peningkatan-kepadatan.



Gambar 3-8 Jenis Kota yang Memperlihatkan Kepadatan Pemukiman dan Persentase Peningkatan Pemukiman sebagai Fungsi Jarak dari Pusat Kota: (a) Kota Kecil Dibagi Menjadi Lingkaran-lingkaran, Sektor-sektor, dan Zona-zona; (b) Kepadatan Pemukiman pada tahun 1980; (c) Peningkatan Pemukiman Berdasarkan Jarak dari DPB pada tahun 1980 dan 2020.

Jawaban

Contoh ini terbatas penggunaannya hanya pada analisis tata-guna lahan pemukiman. Analisis pembangunan pemukiman saat ini adalah sebagai berikut:

$$\text{Kepadatan pemukiman rata-rata dari zona-zona (orang/are)} = \frac{5006}{231} = 21,7 \text{ per are}$$

$$\begin{aligned} \text{Kapasitas pemukiman suatu daerah} &= 5006 + [21,7 \times 130] \\ &= 7827 \text{ orang} \end{aligned}$$

$$\text{Persentase kapasitas pemukiman yang ada} = \frac{5006}{7827} = 64\%$$

Alokasi populasi tambahan ($6100 - 5006 = 1094$) dilakukan seperti diperlihatkan pada Gambar 3-E7, kolom 4.

Pembahasan

Nilai 7827 orang dihitung sebagai kapasitas daya-tampung dari ketiga zona dengan asumsi seluruh pembangunan pemukiman di masa mendatang akan terjadi pada tingkat kepadatan yang sama dengan yang ada sekarang (dalam kasus ini 21,7 orang/are). Nilai presisi yang diperoleh harus dihasilkan dari analisis pola-pola kepadatan yang ada, kebijakan pembagian zona, dan tentu saja, penilaian dari para analis.

8.5 Model-model Tata-guna Lahan Operasional

Sebuah buku petunjuk yang diterbitkan oleh Transportation Research Board (TRB, 1999) meneliti sekitar 20 model tata-guna lahan yang didorong oleh dua tujuan utama: menyempurnakan proses prediksi tata-guna lahan dan mengidentifikasi peralatan dan prosedur untuk secara realistis mengevaluasi dampak tata-guna lahan terhadap investasi dan kebijakan transportasi. Beberapa model tata-guna lahan yang dapat digunakan dengan bantuan program komputer juga dijelaskan.

Berbagai model tata-guna lahan telah dikembangkan dan digunakan secara luas. Namun demikian terdapat beberapa pertimbangan dasar yang harus selalu diingat ketika memilih sebuah model, yaitu kesederhanaan, kebutuhan data, kemampuan adaptasi, kemudahan pemahaman, kemudahan operasional, dan biaya. Salah satu model yang telah digunakan secara luas, dikembangkan oleh Putman (1983), dan dimuat dalam buku petunjuk, akan diuraikan di bawah ini. Model ini pada dasarnya adalah model lokasional yang memperkirakan pemukiman dan tempat kerja. Dasar teoretisnya adalah sebagai berikut.

Misalkan
$$N_i = \sum_j E_j P_{ij}$$

di mana

N_i = orang-orang yang tinggal di zona i

E_j = orang yang bekerja di zona j

P_{ij} = probabilitas bahwa seseorang yang bekerja di j akan memilih untuk tinggal di i dan juga $P_{ij} = f(C_{i,j})$

di mana

$C_{i,j}$ = biaya atas waktu perjalanan antara i dan j .

$$f(C_{i,j}) = C_{i,j}^{-\infty} / \sum C_{i,j}^{-\infty}$$

dan di mana ∞ adalah parameter sensitifitas biaya.

Sebuah contoh akan membantu Anda memahami penggunaan model ini.

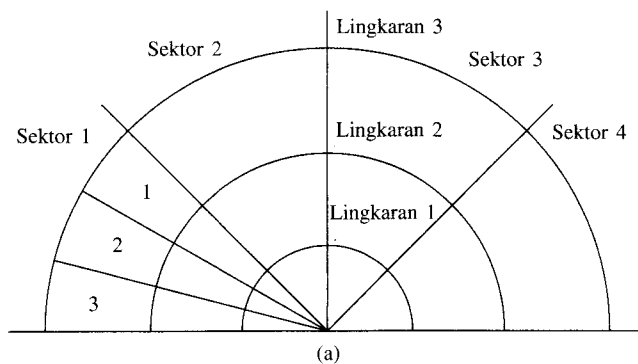
Contoh 8

Sebuah kota kecil yang terdiri dari lima zona, seperti diperlihatkan pada Gambar 3E-8, memiliki total 6000 peluang kerja yang didistribusikan sebagai berikut: zona 1 = 1000; zona 2 = 2000; zona 3 = 3000; zona 4 = 0; dan zona 5 = 0. Jika $\infty = -2$, berdasarkan survey perjalanan, bagaimanakah penduduk akan didistribusikan? Asumsikan bahwa terdapat 6000 kepala keluarga yang tinggal di kota ini. Biaya perjalanan diberikan di bawah ini.

	1	2	3	4	5
1	1,0	1,5	2,0	1,5	2,5
2	1,5	1,0	1,5	2,0	2,0
3	2,0	1,5	1,0	2,0	2,5
4	1,5	2,0	2,0	1,0	1,5
5	2,5	2,0	2,5	1,5	1,0

Jawaban

Hitunglah jumlah penduduk di zona 1.



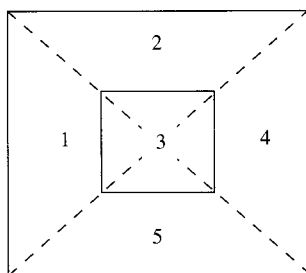
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
Zona	Luas Total (are)	Populasi Pemukiman yang Ada	Lahan yang Tersedia untuk Pemukiman	Jumlah Lahan Tambahan Maksimum yang Tersedia untuk Pemukiman
1	287	1768	76	35
2	296	2008	103	40
3	144	1230	52	55
Total (lingkaran)	727	5006	231	130

(b)

(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
Zona	Lahan Tambahan yang Tersedia untuk Pemukiman	Faktor $\frac{\text{Kolom 2}}{\Sigma \text{Kolom 2}}$	Tingkat Pertambahan Pertumbuhan di Zona	Populasi yang Ada	Prediksi Populasi (Kolom 4 + Kolom 5)
1	35	0,27	0,27 (6100 – 5006) = 295	1768	2063
2	40	0,31	0,31 (6100 – 5006) = 339	2008	2347
3	55	0,42	0,42 (6100 – 5006) = 460	1230	1690
Total	130		1094	5006	6100

(c)

Gambar 3-E7 (a) Lingkaran, Sektor, dan Zona; (b) Populasi dan Tata-guna Lahan yang Ada; (c) Alokasi Populasi Tambahan.



Gambar 3-E8 Kota 5-Zona

$$N_i = \sum_j E_j \left(C_{i,j}^{-\infty} / \sum C_{i,j}^{-\infty} \right)$$

$$N_1 = E_1 \left(C_{1,1}^{-2} / \sum C_{i,1}^{-2} \right) + \dots + E_5 \left(C_{1,5}^{-2} / \sum C_{i,5}^{-2} \right)$$

$$= \frac{1000(1,00)}{2,29} + \frac{2000(0,44)}{2,38} + \frac{3000(0,25)}{2,10} = 1160$$

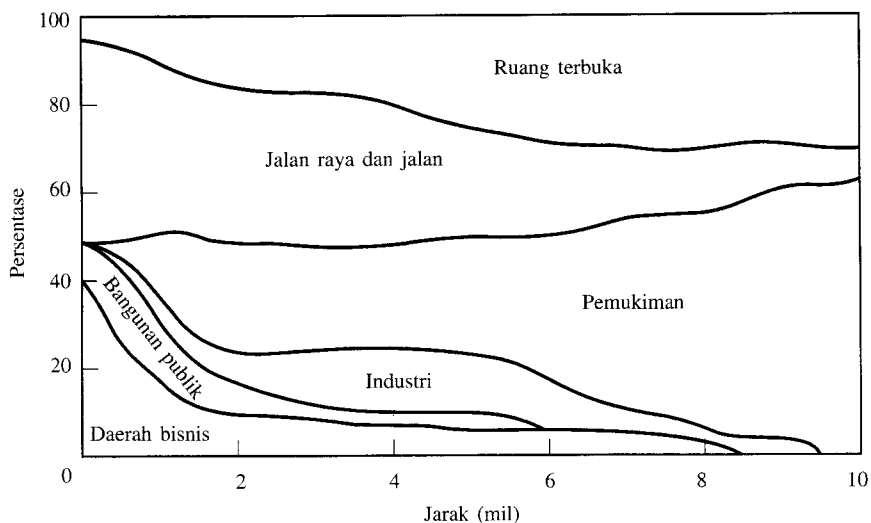
Dengan cara yang sama, $N_2 = 1660$; $N_3 = 1910$; $N_4 = 760$ dan $N_5 = 510$. Perhatikan bahwa penyebut pada suku pertama adalah $(1 + 0,44 + 0,25 + 0,44 + 0,16) = 2,29$ dan perhitungan yang sama juga dapat dilakukan untuk suku-suku lainnya.

RANGKUMAN

Transportasi dapat dipandang sebagai konsekuensi dari kenyataan bahwa berbagai jenis tata-guna lahan di dalam kota terbagi-bagi menurut ruang. Pada saat yang sama, peningkatan mobilitas juga dapat dilihat sebagai faktor penyebab meningkatnya pemisahan tata-guna lahan.

Hubungan yang saling menguntungkan antara transportasi dan tata-guna lahan menghasilkan pergerakan dan pola-pola arus lalu-lintas yang terlihat di suatu wilayah perkotaan. Aksesibilitas tempat memiliki dampak besar terhadap nilai lahan, dan lokasi suatu tempat di dalam jaringan transportasi menentukan tingkat aksesibilitasnya. Dengan demikian, dalam jangka panjang, sistem transportasi, dan arus lalu lintas di dalamnya, akan membentuk pola tata-guna lahan. Perhatikanlah bahwa persentase lahan terbesar di setiap kota digunakan untuk jalan dan jalan raya (lihat Gambar 3-9).

Seluruh pergerakan di dalam suatu kota membutuhkan biaya, yang diukur dari sisi waktu dan/atau uang. Terdapat pertimbangan dalam keputusan melakukan perjalanan, karena orang umumnya sangat menghargai waktu perjalanan dan ingin menguranginya sedapat mungkin, mereka tidak mau terlalu jauh dari tempat-tempat yang harus mereka kunjungi secara rutin.



Gambar 3-9 Persentase Distribusi Enam Tata-guna Lahan berdasarkan Jarak dari Pusat Kota (untuk kota tertentu).

Keinginan ini merupakan determinan penting dari pola tata-guna lahan di dalam kota.

Konsep yang mendasari hubungan antara tata-guna lahan dan transportasi adalah aksesibilitas. Dalam konteks yang lebih luas, aksesibilitas berarti kemudahan melakukan pergerakan dari tempat yang satu ke tempat yang lain.

Teori lokasi adalah alat yang berguna untuk memahami di mana, dan mengapa, berbagai aktivitas wilayah perkotaan ditempatkan. Pembagian zona dan dampak-dampaknya pada tata-guna lahan memperlihatkan bagaimana pasar lahan-bebas sebagian dikendalikan untuk keuntungan penduduknya.

Hubungan tata-guna lahan dan transportasi menunjukkan bahwa terdapat banyak variabel yang mempengaruhi hubungan antara tata-guna lahan dan transportasi. Beberapa variabel yang terpenting adalah sumber keuangan, aktivitas industri, biaya bahan bakar, permintaan dan penawaran, struktur bisnis, peluang kerja, dan pertumbuhan penduduk. Seluruh variabel ini dan keterkaitannya mempertegas kenyataan bahwa bentuk wilayah perkotaan adalah salah satu sistem yang paling rumit di dunia.

Model-model pengembangan tata-guna lahan membantu para ahli perencanaan wilayah perkotaan dan insinyur transportasi untuk memahami kompleksitas sistem wilayah perkotaan dan, yang terpenting, menyediakan sarana untuk mengalokasikan pertumbuhan wilayah perkotaan ke berbagai bagian kota dengan menggunakan gagasan yang rasional.

DAFTAR PUSTAKA

- AMERICAN SOCIETY OF CIVIL ENGINEERS (ASCE) (1986). *Urban Planning Guide*, rev. ed., ASCE manual 49, ASCE, New York.
- BLUNDEN, W. R. (1971). *The Land Use/Transportation System*, Pergamon Press, Oxford, England.
- BLUNDEN, W. R., and J. A. BLACK (1984). *The Land Use/Transportation System*, 2nd ed., Pergamon, Oxford, England.
- BOURNE, LARRY S. (1982). *Internal Structure of the City: Readings on Urban Form, Growth and Policy*, 2nd ed., Oxford University Press, New York.
- Budhu, G., and D. GRISSON (1985). Development of a Simulation Model to Study the Impact of Rapid Urban Growth on the Transportation Sector, *Transportation Research Record 1046*, Transportation Research Board, Washington, DC.
- CLARK, COLIN (1951). Urban Population Densities, *Journal of the Royal Statistical Society, Series A*, vol. 114.
- HANSEN, SUSAN (ed.) (1986). *The Geography of Urban Transportation*, Guildford Press, New York.
- KHISTY, C. J. (1977). *An Evaluation of Alternative Manual Land Use Forecasting Methods Used in Transportation Planning*, Ph. D dissertation, Department of Civil Engineering, Ohio State University, Columbus.
- Khisty, C. J. (1979). Land-Use Allocation Model for Small and Medium-Sized Cities, *Transportation Research Record 730*, Transportation Research Board, Washington, DC.
- KHISTY, C. J. (1981). *Evaluation of Two Residential Models for Land Use Allocation*, *Transportation Research Record 820*, Transportation Research Board, Washington, DC.
- LEE, COLIN (1973). *Models in Planning*, Pergamon Press, Oxford, England.
- PUTMAN, S. H. (1983). *Integrated Urban Models*. London: Pion, Ltd.
- TRANSPORTATION RESEARCH BOARD (TRB) (1999). NCHRP Report 423A, *Land Use Impacts of Transportation: A Good Book*, Washington, DC.

SOAL-SOAL LATIHAN

1. Dengan bantuan diagram, gambarkan dua pola kepadatan yang mungkin untuk sebuah kota dengan populasi 360.000 jiwa yang menempati daerah seluas 9.000 are. Apa dasar pemikiran yang Anda gunakan untuk pola-pola yang Anda pilih?
2. Apa yang Anda lakukan untuk mengukur pertambahan kepadatan penduduk di kota Anda? Bagaimana Anda mengukur kepadatan sebuah apartemen, sebuah rumah, dan sebuah pangkalan militer yang menampung 2.000 tentara? Dapatkah foto udara (*aerial photograph*) dari kota ini membantu pengukuran Anda?
3. Sebuah zona tata-guna lahan terdiri dari 2.000 rumah, 520 apartemen, dan 3 hotel dengan masing-masing 600 kamar. Hitunglah arus lalu lintas kendaraan per hari yang dihasilkan zona ini, dengan menggunakan persamaan berikut:

$$\begin{aligned}t_s &= 5 + 7,35 U_s \\t_a &= 7,0 + 6,25 U_a \\t_h &= 2 + 12 U_h\end{aligned}$$

di mana s adalah rumah, a adalah apartemen, h adalah hotel, t adalah perjalanan, dan U adalah perumahan. Mengapa terdapat perbedaan yang signifikan di dalam perjalanan yang dihasilkan di antara unit-unit di atas?

4. Sejauh manakah kegunaan fungsi pembagian zona di dalam ukuran suatu kota? Tentukan tingkat pembagian zona di dalam kota Anda dan buatlah lima kesimpulan penting dari tingkat pembagian zona yang Anda buat.
5. Pilihlah sebuah kota sekehendak Anda dan buatlah rencana umum (sebaiknya rencana tata-guna lahan), yang memperlihatkan pembangunan pemukiman, daerah bisnis, dan kawasan industri untuk dua atau tiga masa: misalnya, sebelum Perang Dunia ke-2, setelah tahun 1950, dan saat ini. Apakah pola pembangunan yang dapat Anda temukan di dalam kota ini berhadapan langsung dengan sistem transportasi? Tulislah sebuah laporan singkat tentang temuan Anda.
6. Menurut pendapat Anda, parameter fisik apa yang paling penting agar suatu kota dapat bekerja secara efisien? Buatlah daftar dan urutkan parameter-parameter yang Anda pilih.
7. Apakah yang akan terjadi pada kota Anda, apabila (a) pembagian zona diakhiri, dan (b) perencanaan komprehensif atas kota dibatalkan?
8. Tiga daerah pemukiman (1, 2, dan 3) dengan masing-masing 400, 500, dan 700 pekerja, dan empat daerah bisnis (4, 5, 6 dan 7) dengan masing-masing 350, 450, 500, dan 300 pekerjaan dihubungkan dengan jaringan jalan raya dan memiliki biaya perjalanan sebagai berikut: $t_{14} = 10$, $t_{15} = 12$, $t_{16} = 14$, $t_{17} = 15$, $t_{24} = 8$, $t_{25} = 9$, $t_{26} = 10$, $t_{27} = 12$, $t_{34} = 4$, $t_{35} = 6$, $t_{36} = 8$, dan $t_{37} = 15$. Asumsikan bahwa $b = 1,2$. Tentukan aksesibilitas daerah aktual dan relatif dari daerah pemukiman tersebut.
9. Sebuah kota konsentris dengan satu daerah DPB mempunyai aktivitas-aktivitas wilayah perkotaan yang saling berkompetisi untuk memperebutkan berbagai lokasi yang akan mengurangi biaya transportasi mereka. Tiga aktivitas utama tersebut adalah daerah bisnis, kawasan industri, dan pemukiman. Keuntungan kotor per feet^2 , biaya transportasi per mil, dan jarak dari DPB untuk tingkat keuntungan dari setiap aktivitas diperlihatkan pada tabel di bawah ini. Apakah kemungkinan pola tata-guna lahan untuk kota tersebut?

Tata-Guna Lahan	Keuntungan Kotor (per feet^2)	Biaya Transportasi (\$/mil)	Batas dalam Mil dari DPB
Daerah komersial (C)	100	50	2
Daerah industri (I)	80	20	4
Daerah pemukiman (R)	50	5	10

10. Lihat soal nomor 9. Sebuah pusat bisnis dan industri sedang direncanakan sejauh 12 mil dari kota, seperti diuraikan pada soal 9, di mana penggunaan pemukiman diabaikan. Ciri-ciri dari pusat kota ini adalah sebagai berikut:

Tata guna lahan	Keuntungan kotor	Biaya Transportasi (\$/mil)
Daerah bisnis	70	35
Kawasan industri	60	20

- a. Bagaimanakah pusat kota yang baru ini mempengaruhi distribusi tata-guna lahan?
 - b. Gambarkan kecenderungan tata-guna lahan (rencana dan potongan longitudinal).
11. Apakah keputusan yang harus diambil, jika biaya transportasi atas penanaman tumbuhan *A*, *B*, *C*, dan *D* pada Contoh 4 diubah menjadi masing-masing 35, 12, 8, dan 4, sebagai akibat dari pertumbuhan wilayah perkotaan?
 12. Sebuah kota baru seperti ini akan dibangun di sebuah gurun pasir di Amerika barat daya karena ditemukannya sumur minyak. Perusahaan minyak saat ini memiliki karyawan sebanyak 2.500 orang, tiap orang rata-rata memiliki 3 anggota keluarga termasuk karyawan itu sendiri. Untuk setiap 10 orang di kota ini, 3 pekerjaan dihasilkan setiap tahun. Hitunglah populasi dan pekerjaan di kota baru tersebut setelah 10 tahun. Apakah pertumbuhan kota akan stabil? Bagaimanakah peningkatan situasinya? Asumsi berikut mungkin dapat digunakan: (1) diperkirakan bahwa 2, 4, dan 6 tahun dari tanggal dimulainya pemukiman, kota tersebut akan mempunyai peluang pekerjaan sebesar masing-masing 3.500, 4.200, 4.500, dan bahwa maksimum pekerjaan di ladang minyak akan menjadi 5000, dan (2) pertumbuhan eksponensial modifikasi berlaku dalam soal ini.
 13. Sebuah kota kecil dibagi menjadi enam daerah pemukiman dan data pembagian daerahnya diperoleh dari sebuah survey, sebagai berikut:

Zona	Jumlah Arus Lalu-lintas	Jumlah Rumah
1	500	3250
2	630	4040
3	440	2835
4	760	4200
5	790	5700
6	1250	7250

Estimasikanlah parameter-parameter dari sebuah model regresi linier yang menghubungkan lalu lintas dan perumahan dan berilah penjelasan tentang data-datanya.

14. Sebuah kota dengan empat zona mempunyai ciri-ciri sebagai berikut:

Zona	Populasi Total Saat ini	Kapasitas Daya Tampung (are)
1	3000	300
2	2500	280
3	9000	500
4	4500	350

Waktu tempuh (dalam menit) adalah sebagai berikut:

Dari <i>i</i> \ Ke <i>j</i>	1	2	3	4
	1	2	3	4
1	5	10	12	15
2	10	4	9	20
3	12	9	3	14
4	15	20	14	6

Kita dapat menggunakan eksponen sebesar 2,2 berdasarkan penelitian yang dilakukan terhadap kota-kota lain dengan ukuran yang sama. Apabila kota ini cenderung tumbuh 15% dalam 15 tahun, berapakah kemungkinan jumlah populasi yang terletak di tiap-tiap zona pada tahun-horison? Berapakah perubahan persentase dalam alokasi populasi ke zona-zona tersebut jika eksponen yang digunakan adalah 1,8 dan 2,0?

15. Seorang ahli dalam perencanaan tata-guna lahan tidak setuju dengan angka-angka pada Contoh 6 dan mengajukan perhitungan distribusi berikut untuk tahun prediksi dengan menggunakan metoda yang lebih canggih:

Zona	Populasi
1	1392
2	2280
3	4328

Berapakah seharusnya nilai eksponennya agar sesuai dengan angka-angka pada tabel di atas? Apakah kesimpulan yang dapat diambil dari latihan soal ini?

16. Sebuah kota metropolitan besar, dengan bentuk hampir lingkaran, mempunyai enam tata-guna lahan, seperti diperlihatkan pada Tabel 3-4. Jika populasi kota metropolitan ini adalah 5 juta jiwa, jawablah pertanyaan-pertanyaan berikut:
- Berapakah perkiraan persentase dari keenam tata-guna lahan ini di dalam daerah studi?
 - Berapakah perbandingan antara area jalan dan jalan raya terhadap area yang digunakan untuk lahan pemukiman?
 - Berapakah rata-rata kepadatan pemukiman?
 - Terdapat enam koridor transportasi besar di daerah ini. Gambarkan menurut pertimbangan Anda distribusi yang sesuai untuk daerah pemukiman, daerah bisnis, kawasan industri, bangunan publik dan ruang terbuka.
17. Sebuah kota dengan luas 2 mil persegi mempunyai DPB seluas 1/2 mil persegi dengan kepadatan populasi seragam yaitu 100 jiwa/are. Kepadatan mulai dari pinggiran DPB hingga ke arah pinggiran kota di keempat sisinya menurun seragam sebesar 5 jiwa/are. Gambarkan pola kepadatan populasi dan tentukan jumlah total populasi (1 mil persegi = 640 are).
18. Sebuah kota berbentuk lingkaran memiliki fungsi kepadatan pemukiman berikut yang menghubungkannya dengan jarak dari pusat kota:

$$dx = d_0 e^{-bx}$$

di mana

d = kepadatan (jiwa/are)

x = jarak dari pusat kota (mil)

b = gradien kepadatan

Pada jarak 2 mil dari pusat kota, kepadatan rata-rata adalah 21 jiwa/are; pada jarak 3 mil, kepadatan menurun jauh menjadi 9 jiwa/are. Tentukanlah konstanta dari persamaan tersebut. Berapa luas kota tersebut? (1 mil² = 640 are). Asumsikan bahwa kepadatan di daerah pinggiran adalah 1 jiwa/are.

19. Seorang ahli tataguna-lahan mengobservasi bahwa di 5 zona dari kota, jumlah pompa bensin (Y) terhadap populasi penduduk (X) (dalam ribuan) adalah sebagai berikut:

Y	2	7	3	5	8
X	1	5	3	2	4

- Buatlah sebuah persamaan regresi linier yang menyatakan Y dalam X .
 - Tentukan R^2 dan lakukan uji- t .
20. a. Kepadatan populasi di pusat sebuah kota yang berbentuk lingkaran adalah 200 jiwa/are dan kepadatan menurun secara serentak ke arah pinggiran kota, sebesar 5 jiwa/are. Berapakah perkiraan jumlah populasi di kota ini?

- b. Jika kepadatan populasi berbeda-beda terhadap jaraknya terhadap pusat kota berdasarkan persamaan berikut:

$$d_x = d_0 e^{-bx}$$

berapakah perkiraan populasi di kota ini? Asumsikan bahwa radius kota adalah 3 mil.

21. Rata-rata jumlah perjalanan (Y) yang dilakukan oleh rumah tangga di 13 zona di suatu wilayah perkotaan dinyatakan sebagai berikut disertai dengan rata-rata pendapatan keluarga (X):

Zona	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Y	4,2	3,0	3,9	4,5	5,6	5,8	4,4	7,0	5,9	3,1	4,6	6,6	6,1
X	4,9	3,4	5,5	6,7	9,0	6,7	7,6	8,6	8,6	4,3	5,5	6,7	7,7

- a. Plotlah data di atas ke dalam suatu skala dan gambarlah garis lurus yang menghubungkan X dan Y (dengan trial dan error).
 b. Tentukanlah persamaan regresi yang menghubungkan Y dari sisi X , tentukan R^2 , dan lakukan uji- t .
22. Lihat soal nomor 21. Kepadatan pemukiman bersih (X_1) (dalam jumlah rumah per are) untuk ke-13 zona adalah sebagai berikut:

Zona	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
X_1	13,9	49,2	15,2	16,2	11,5	6,5	5,7	4,9	7,6	28,5	10,4	2,6	2,4

- a. Plot dengan skala, perjalanan/jumlah rumah/are, (Y) terhadap X_1 . Apakah yang Anda simpulkan dari gambar tersebut? Apakah menurut Anda terdapat hubungan yang linier antara X_1 dan Y ?
 b. Sekarang hitunglah logaritma X_1 (dasar 10), dan plotlah dengan skala, perjalanan/jumlah rumah/are (Y) terhadap X_2 (logaritma X_1). Apakah kesimpulan yang Anda buat dari plot tersebut?
 c. Tentukan persamaan regresi yang menghubungkan Y dengan X_2 , tentukan R^2 , dan lakukan uji- t .
23. Sebuah kota berukuran-sedang di Midwest cenderung mengalami kenaikan total populasi dalam 10 tahun mendatang sebesar 10%. Menggunakan Gambar 3-5 dan 3-6, bagaimanakah perkiraan Anda tentang peningkatan/penurunan berbagai faktor ekonomi di kota ini, seperti perumahan, tenaga kerja, dan lain-lain? Apakah informasi data tambahan yang dibutuhkan untuk membuat perkiraan yang masuk akal tentang parameter-parameter tersebut?
24. Sebuah kota lima-zona yang memiliki waktu tempuh (menit) sebagaimana diperlihatkan dalam tabel cenderung bertambah 1.000 orang dari populasinya saat ini dalam lima tahun ke depan.
- a. Dihipotesiskan bahwa distribusi dari populasi tambahan ini akan proporsional dengan aksesibilitas ke tempat kerja dari sebuah zona. Tempat kerja tambahan dalam lima tahun ke depan berikut distribusinya juga diperlihatkan. Dengan menggunakan asumsi $b = 2$, gunakanlah model Hansen untuk mendistribusikan pertumbuhan populasi.

Zona	1	2	3	4	5
1	1	3	8	5	12
2	3	1	6	2	9
3	8	6	1	4	7
4	5	2	4	1	7
5	12	9	7	7	1

Zona Peluang Pekerjaan di Masa Mendatang

1	150
2	30
3	200
4	100
5	25

- b. Dihipotesiskan bahwa populasi tambahan akan didistribusikan berdasarkan aksesibilitas dan lahan kosong yang tersedia di tiap daerah. Bagaimanakah distribusi pembagian daerahnya?

Zona	Lahan Kosong
1	51
2	21
3	42
4	19
5	72

- c. Jika, selain kondisi-kondisi yang diuraikan pada bagian (a) dan (b), dihipotesiskan bahwa daya tarik sebuah daerah mempunyai peran dalam penentuan lokasi populasi tambahan, sebagaimana angka di bawah ini, bagaimanakah populasi tambahan didistribusikan?

Zona	Daya Tarik
1	3
2	2
3	1
4	3
5	4

25. Menurut Anda cara-cara apakah yang dilakukan untuk mengurangi waktu dan biaya perjalanan kereta ke tempat kerja dengan menggunakan strategi-strategi yang melibatkan tata-guna lahan? Bagaimanakah Anda membuat prioritas atas strategi-strategi tersebut?
26. Sebuah kota berukuran sedang (jumlah penduduk 100.000 jiwa) cenderung menarik industri berteknologi tinggi untuk memulai produksi. Fase operasi industri membutuhkan pertumbuhan penduduk 5% per tahun dalam lima tahun mendatang. Apakah akibat yang akan terjadi dengan pertumbuhan ini terhadap kota, khususnya dari sisi pengembangan lahan, ketersediaan lahan, konstruksi, perumahan, peluang kerja, aktivitas industri, polusi, konsumsi bahan bakar, transportasi, sumber-sumber keuangan, dan sebagainya. (Kunci: lihat kembali Gambar 3-5 dan 3-6 dan literatur lainnya).
27. Sebuah kota kecil dengan penduduk sekitar 20.000 jiwa berlokasi 7 mil dari jalan Interstate I-90 di negara bagian Washington. Sebuah jalan raya dua-lajur membentang melalui kota ini, tetapi tidak terhubung langsung dengan I-90. Rencana DOT Washington bermaksud untuk membangun sebuah interchange di mana jalan raya dua-lajur ini memotong I-90 dan meningkatkan bagian 7 mil dari jalan raya dua-lajur tersebut menjadi jalan raya empat-lajur. Jawablah pertanyaan-pertanyaan berikut dari sudut pandang tata-guna lahan.
- a. Apakah yang cenderung akan terjadi pada lahan di sepanjang jalan raya penghubung di dekat interchange pada sepuluh tahun mendatang?
- b. Apakah yang akan terjadi pada kota ini dalam jangka pendek (5 sampai 10 tahun) dan jangka panjang (30 tahun). Tulislah sebuah laporan tentang kekuatiran dan harapan Anda terhadap masa depan kota ini.
28. Lihatlah kembali Contoh 8. Diusulkan untuk membangun expressway utama dari zona 3 ke zona 5, perubahan yang cenderung mengubah biaya perjalanan. Bagaimanakah distribusi penduduk di daerah tersebut akan terpengaruh, dengan mengasumsikan bahwa biaya perjalanan dari zona 3 ke zona 5 dan dari zona 5 ke zona 3 akan berubah menjadi 1,5 satuan dari harga awal 2,5 satuan sebagaimana diperlihatkan pada matriks? Seluruh faktor lainnya tidak ada yang berubah.
29. Lihatlah kembali Contoh 8. Diperkirakan bahwa 1.000 pekerjaan cenderung pindah dari zona 2 ke zona 5, yang menghasilkan penurunan daerah pekerjaan sebagai berikut: zona 1 = 1000; zona 2 = 1000; zona 3 = 3000; zona 4 = 0; dan zona 5 = 1000. Jika seluruh faktor lainnya tidak berubah, bagaimanakah lokasi kediaman-kediamannya akan didistribusikan?

Karakteristik Kendaraan dan Manusia

1. PENDAHULUAN

Para insinyur dan ilmuwan perilaku (*behavioral scientist*) telah bekerja bersama-sama lebih dari 50 tahun untuk memahami dan merancang sistem-sistem mesin-orang yang efisien. Riset mereka telah membantu para insinyur transportasi untuk memahami bagaimana manusia (sebagai operator kendaraan, penumpang, atau pejalan kaki) berinteraksi dengan kendaraan dan fasilitas transportasi yang mereka gunakan (Shinar, 1978).

Selama ini diketahui bahwa ada tiga elemen utama dari moda jalan raya yaitu manusia, kendaraan, dan lingkungan. Pengenalan ini telah menyediakan matriks yang berguna bagi para ahli teknik keamanan (*safety engineers*) (Haddon, 1980; lihat Bab 16), dan rincian matriks ini dimuat pada Tabel 4-1, di mana tiga elemen tersebut dimasukkan ke dalam kerangka kerja keamanan jalan raya. Jika manajemen sistem hendak dilakukan secara efisien, maka seluruh faktor yang dapat dilakukan harus diperhitungkan. Sebagai contoh, pengemudi harus memiliki pelatihan dan pengetahuan yang benar dan memadai tentang moda jalan raya sebelum mereka mengemudikan kendaraan; dalam suatu peristiwa kecelakaan, kendaraan harus memiliki perangkat yang memadai, seperti sabuk pengaman dan bantal pengaman (*air bag*); dan layanan medis darurat harus tersedia bagi korban kecelakaan. Demikian pula, kendaraan dan lingkungan buatan manusia harus memiliki atribut tertentu untuk tiga tahap—sebelum kecelakaan, pada saat kecelakaan, dan setelah kecelakaan—sebagai tindakan pencegahan untuk mengatasi masalah akibat kecelakaan (Lay, 1986; Homburger dkk., 1996).

Pada bab ini kami menggabungkan beberapa topik yang nantinya akan dibahas lebih terperinci dalam bab lain: sebagai contoh, arus lalu-lintas (Bab 5), desain geometri jalan dan jalan raya (Bab 6), kapasitas jalan raya (Bab 7), desain persimpangan dan alat pengendali lalu-lintas (Bab 8 dan 9), dan keamanan transportasi (Bab 16) adalah topik-topik yang memiliki hubungan sangat erat dengan bab ini.

Pertama, kerangka kerja sederhana dari sebuah model sistem manusia-kendaraan-lingkungan akan diuraikan. Pada subbab-subbab berikutnya, karakteristik kendaraan dan manusia akan dijelaskan. Karakteristik tersebut sangat penting, dalam artian bahwa para insinyur lalu-lintas harus menyadari bahwa dalam kasus manusia, tidaklah cukup untuk menganggap mereka sebagai

TABEL 4-1 Faktor-Faktor Keamanan Jalan raya

	Sebelum Kecelakaan	Saat Kecelakaan	Setelah Kecelakaan
Manusia	Pelatihan Pengetahuan Keahlian Kemampuan dasar Motif dan perilaku	Pengaman di dalam kendaraan yang digunakan oleh pengemudi dan sesuai bagi kendaraan	Pelayanan medis darurat Bantuan dan deteksi kecelakaan
Kendaraan	Desain sistem pengendalian Desain sistem kenyamanan Desain sistem informasi Hukum dan penegakan hukum	Sistem perlindungan penumpang Desain sistem pengendalian	Sistem pengendalian gas beracun/kebakaran Desain untuk kemudahan akses keadaan darurat Kemampuan perbaikan
Lingkungan	Geometris dan perlengkapan (lalu-lintas) Sistem penegakan peraturan Sistem pengendalian Kondisi penerangan dan cuaca Kondisi permukaan jalan	Bentuk geometri dan perlengkapan untuk penyerapan energi dan memaklumi kondisi jalan bebas hambatan	Faktor geometri untuk kemudahan akses keadaan darurat Pengendalian material jatuhnya dan pembersihannya Pemulihan jalan dan peralatan lalu-lintas

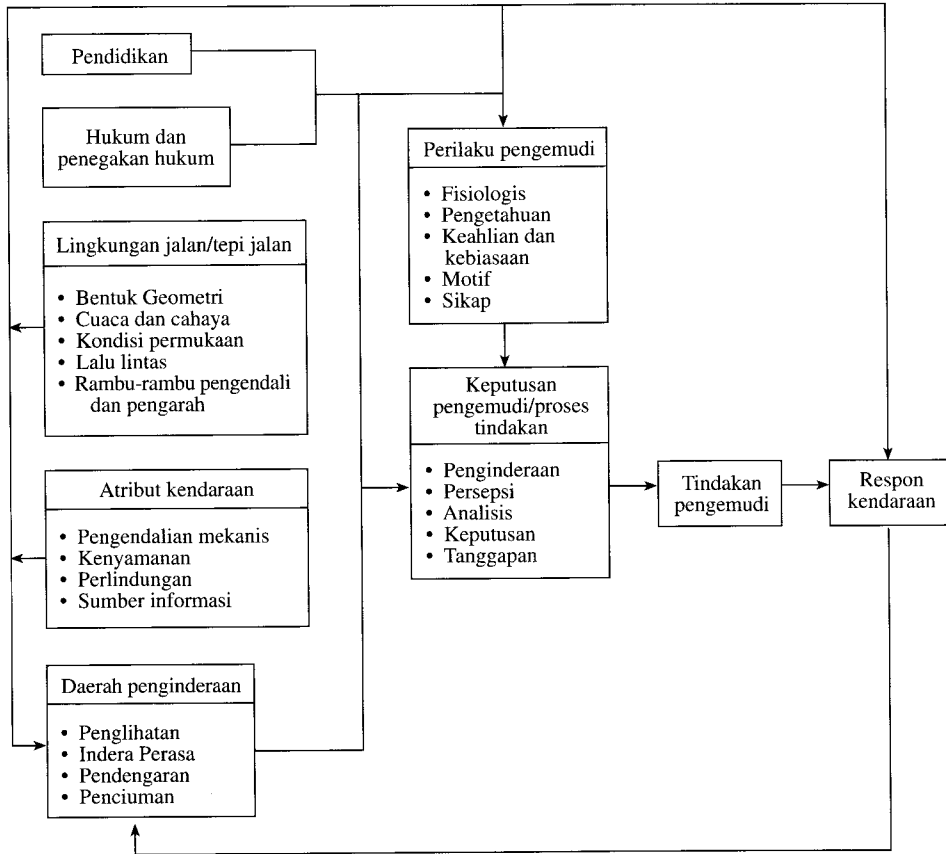
Sumber: FHWA, 1980.

pengemudi “rata-rata” atau pejalan kaki “rata-rata”, mengingat begitu beragamnya kemampuan pengemudi dan pejalan kaki “rata-rata” tersebut. Hal yang sama juga dijumpai ketika kita membahas tentang karakteristik kendaraan. Sistem transportasi digunakan oleh kendaraan bermotor, mulai mobil berukuran kecil sampai truk gandeng yang berukuran besar. Oleh karena itu, para insinyur lalu-lintas cenderung untuk melihat lebih pada “keterbatasan” ketimbang pada “rata-rata”.

2. SEBUAH KERANGKA KERJA SEDERHANA

Sebuah kerangka kerja sederhana dari suatu model yang berupaya untuk memberikan pemahaman tentang sistem manusia-kendaraan-lingkungan diperlihatkan pada Gambar 4-1. Pendidikan mengemudi yang memadai meliputi pengetahuan tentang interaksi manusia-kendaraan-lingkungan, mengembangkan keahlian mengemudi, dan mempengaruhi secara positif perilaku calon pengemudi. Ini akan menciptakan kebiasaan mengemudi yang lebih aman, yang menghasilkan penurunan jumlah kecelakaan. Hukum dan penegakannya memberikan petunjuk dan motivasi demi terwujudnya perilaku pengemudi yang aman dan efisien. Dengan demikian suatu hukum harus bersifat realistis dan mudah dipahami agar dapat berlaku efektif. Telah terbukti bahwa keberadaan hukum tanpa diiringi penegakan hukum yang efektif akan berakibat pada tidak efektifnya hukum tersebut.

Lingkungan jalan/tepi-jalan meliputi kondisi fisik dan kondisi sekitar, sedangkan karakteristik kendaraan meliputi sistem pengendalian mekanis dan sumber informasi yang disediakan bagi pengemudi. Daerah penginderaan terdiri dari berbagai informasi yang digunakan oleh pengemudi. Sebagai contoh, daerah visual terdiri dari berbagai objek, garis, dan pinggir jalan. Masukan-masukan serupa yang diterima lewat kemampuan mendengar dan mencium, bersama dengan indera peraba, membentuk sistem penginderaan. Pengertian yang luas terdapat pada istilah “karakteristik pengendara”, yang meliputi berbagai atribut fisiologis, pengetahuan, keahlian, dan kebiasaan-kebiasaan pengemudi.



Gambar 4-1 Sistem Operasi Manusia-Kendaraan-Lingkungan (FHWA, 1980).

Proses pengambilan keputusan yang dilakukan oleh seorang pengendara meliputi rantai klasik yang terdiri dari proses mengindra, menerima, menganalisis, memutuskan, dan menanggapi. Aktivitas-aktivitas tersebut akan dibahas kemudian dalam bab ini. Yang terakhir, respons kendaraan sebagai reaksi dari aktivitas pengemudi merupakan sebuah fungsi dari karakteristik kendaraan dan lingkungan jalan/tepi jalan.

Secara singkat, pengemudi memiliki dua fungsi dalam sistem ini. Pertama, pengemudi menggunakan sistem untuk berpindah dari satu titik ke titik lainnya dalam suatu periode waktu tertentu, dengan memperhitungkan keselamatan, kemudahan, dan kenyamanan. Kedua, pengemudi juga bertindak sebagai petunjuk dan sistem kendali bagi kendaraan, melibatkan pengendalian yang terus menerus terhadap arah dan kecepatan kendaraan. Untuk melakukan hal ini, pengemudi harus mendeteksi dan menyeleksi informasi dari lingkungan sekitarnya, termasuk bentuk geometris jalan raya, dan menerjemahkan keputusan ke dalam bentuk tindakan terhadap kendaraan. Melalui tanggapan yang benar, terdapat sebuah interaksi yang selaras dan berkelanjutan antara geometri jalan raya, kendaraan, dan pengemudi.

2.1 Karakteristik Pengemudi

Sebuah kerangka untuk karakteristik (kepribadian) pengemudi diperlihatkan pada Gambar 4-2. Sebagaimana telah diuraikan sebelumnya, di dalam karakteristik pengemudi terkandung pengetahuan yang luas yang menangani kemampuan alamiah pengemudi, kemampuan belajar,

dan motif serta perilakunya. Untuk dapat mengemudi dengan baik tidak dibutuhkan bakat khusus. Uji fisik dan psikologis dapat mengungkapkan kebutuhan akan bantuan mekanis dan visual untuk memperbaiki kelemahan seseorang. Di sisi lain, kemampuan mengemudi—yang dapat dipelajari oleh pengemudi—harus diperoleh dengan belajar dan praktik, dan hasil-hasil belajar ini dapat diuji untuk mengetahui kekurangannya. Untuk memahami mengapa pengemudi berperilaku seperti yang mereka lakukan, dapat diketahui dari motif dan sikapnya. Perilaku seringkali dapat menentukan bagaimana seorang pengemudi bereaksi terhadap situasi pada saat berkendara. Motif dapat dikaitkan dengan rasa takut akan kecelakaan, takut dikritik, dan perasaan tanggung jawab sosial. Karakteristik pengemudi dapat berubah secara drastis dan cepat karena penggunaan alkohol, narkoba dan obat-obatan. Rasa sakit, jenuh, dan tidak nyaman dapat secara serius mengurangi efisiensi mengemudi, sebagaimana diperlihatkan pada Gambar 4-2.

2.2 Penginderaan

Pengemudi dapat menerima informasi bermanfaat yang berhubungan dengan pengendalian kendaraan yang aman melalui perasaan, penglihatan, pendengaran, dan penciumannya. Dengan demikian, suhu udara dan kelembapan, gaya-gaya dan laju perubahan, serta vibrasi dan osilasi kendaraan yang berkaitan dengan stabilitas kendaraan adalah beberapa contoh sumber informasi umum yang dapat dirasakan oleh pengemudi melalui organ inderanya. Kita akan membahasnya satu demi satu.

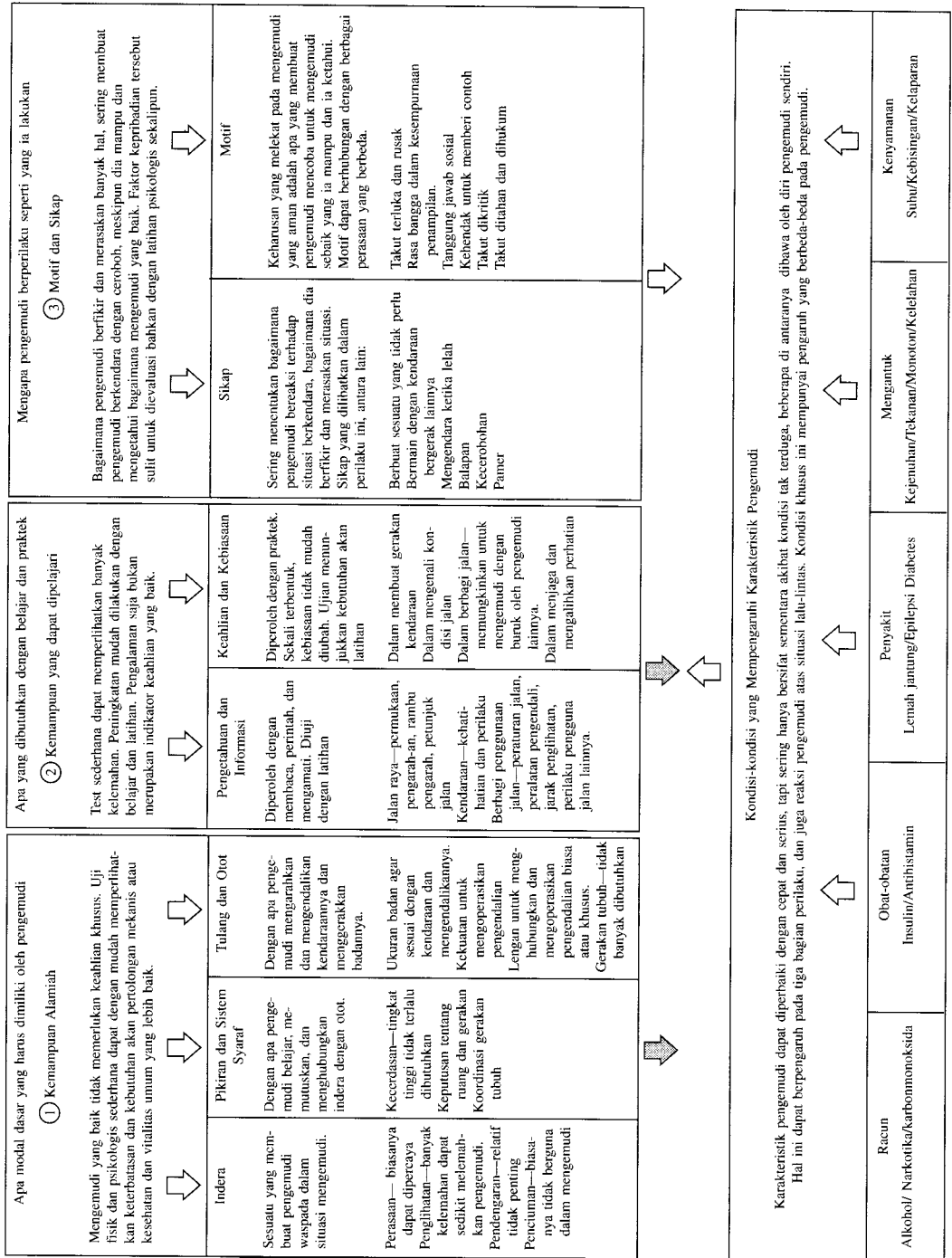
2.2.1 Perasaan Pengemudi mengalami gaya-gaya yang bekerja pada kendaraannya, seperti gaya gravitasi, percepatan, perlambatan, dan percepatan membelok. Sebagai contoh, rata-rata pengemudi biasanya menggunakan 0,3 g percepatan lateral ketika membelok 90 derajat di sebuah jalan kota pada kecepatan 15 mil per jam, tetapi umumnya menggunakan tidak lebih dari 0,1 g pada sebuah belokan panjang mendatar pada kecepatan 60 mil per jam. Jadi, dalam mempercepat dan memperlambat kendaraannya, pengemudi sangat dipengaruhi oleh kecepatan dan kondisi jalan.

2.2.2 Penglihatan Penglihatan adalah komponen terpenting bagi pengemudi untuk memperoleh informasi yang akurat mengenai keterkaitan antara objek yang ia lihat dan mengenai pesan-pesan pada rambu lalu-lintas. Karakteristik-karakteristik tertentu dari ketajaman penglihatan mendapat perhatian khusus dalam transportasi. Karakteristik-karakteristik ini meliputi antara lain: ketajaman penglihatan statis dan dinamis, persepsi kedalaman, penglihatan perifer (melihat jauh), penglihatan malam hari, dan kepulihan dari silau cahaya. *Ketajaman penglihatan* adalah kemampuan untuk melihat dengan baik suatu objek hingga detail terkecilnya. Penglihatan yang tajam berada di dalam suatu kerucut sempit selebar 3 sampai 5 derajat, sedangkan batas penglihatan tajam manusia normal selebar 10 sampai 12 derajat. Itulah sebabnya, semua tanda-tanda dan rambu-rambu lalu-lintas harus ditempatkan dalam kerucut penglihatan 10 sampai 12 derajat ini, dan jelas tidak lebih dari 20 derajat.

Pada orang yang sama, ketajaman penglihatan tergantung dari beberapa faktor, dan rentang ketajaman penglihatan pun berbeda-beda untuk berbagai kelompok umur. Sebagai contoh, seseorang dengan penglihatan 20/40 dalam cahaya yang sangat terang mungkin hanya memiliki penglihatan 20/100 pada malam hari untuk jarak yang sama pada saat melihat objek yang sama. Meskipun standar minimum penglihatan telah ditentukan sebagai syarat untuk memperoleh SIM, kemampuan pengemudi untuk melihat sesungguhnya sangat berbeda-beda, bergantung pada banyak faktor.

Pengemudi harus memiliki persepsi kedalaman yang memadai untuk menentukan jarak dan kecepatan. Mekanisme utama yang digunakan oleh manusia untuk menentukan persepsi

Kekurangan di satu bagian dapat dikompensasikan, sampai satu taraf tertentu, dengan kelebihan pada satu atau lebih bagian lain



Gambar 4-2 Bagian-bagian dari Karakteristik Pengemudi (Baker, 1975).

kedalaman adalah melalui penglihatan binokuler, meskipun paralaks monokuler dan ada hal-hal lainnya juga membantu proses ini.

Diperkirakan bahwa sekitar 8% pria dan 4% wanita menderita penyakit buta warna (berkurangnya kemampuan untuk membedakan warna merah dan hijau). Berkurangnya kemampuan melihat meningkat seiring dengan bertambahnya usia, dan berbagai penyakit mata, seperti katarak, dan ketidakmampuan lainnya dapat dideteksi melalui pemeriksaan rutin oleh pihak yang berwenang.

Penglihatan tepi (*peripheral vision*) berhubungan dengan kemampuan seseorang untuk melihat objek, tidak harus secara jelas. Penglihatan seperti ini berfungsi sebagai tanda peringatan. Sudut penglihatan tepi umumnya bervariasi antara 120 sampai 180 derajat. Telah diketahui bahwa kepala manusia dapat bergerak 45 derajat ke kiri atau ke kanan, dan 30 derajat ke atas atau ke bawah. Ketika kepala dan mata bergerak dari satu objek ke objek lainnya, satu kedipan mata seringkali memblok objek yang tadinya seharusnya masih terlihat samar-samar. Fakta ini penting untuk penempatan tanda dan rambu lalu-lintas.

Waktu yang dibutuhkan untuk melihat objek juga penting. Jeda kedipan mata dan pergerakannya bervariasi dari 0,1 sampai 0,3 detik. Ketika menunggu lampu hijau menyala di persimpangan jalan, waktu yang dibutuhkan oleh seorang pengemudi untuk melihat ke kiri, ke kanan dan kembali ke kiri, berkisar sekitar 1 detik. Lima proposisi yang diambil dari literatur mengenai faktor-faktor manusia juga berlaku dalam desain jalan raya:

1. Ketika kecepatan bertambah, konsentrasi penglihatan bertambah. Objek yang tegak lurus dengan jalan akan terlihat lebih jelas, sedangkan objek yang sejajar dengan jalan tidak terlihat jelas.
2. Ketika kecepatan bertambah, titik konsentrasi-penglihatan semakin menjauh. Dengan kata lain, mata manusia akan merasakan jalan yang ada di depan mobil dan memungkinkan pengemudi mempersiapkan waktu untuk keadaan darurat. Pada kecepatan 20 mil per jam, pengemudi memusatkan perhatian pada jarak 600 feet ke depan; pada kecepatan 45 mil per jam, perhatiannya menjadi 1.200 feet, dan pada kecepatan 65 mil per jam meningkat lagi menjadi 2.000 feet.
3. Ketika kecepatan bertambah, penglihatan tepi berkurang. Pada kecepatan 25 mil per jam, penglihatan tepi membentuk sudut horizontal sekitar 100 derajat; pada kecepatan 45 mil per jam, sudut ini berkurang menjadi 65 derajat; dan di atas 65 mil per jam menjadi kurang dari 40 derajat.
4. Ketika kecepatan bertambah, detail pada latar depan mulai kabur. Pada kecepatan 40 mil per jam titik terdekat untuk penglihatan jelas adalah 80 feet. Detail depan akan sangat berkurang pada kecepatan 50 mil per jam dan dapat diabaikan pada kecepatan di atas 60 mil per jam. Sehingga, hanya dalam sudut 40 derajat dan pada jarak antara 110 sampai 1.400 feet sajalah penglihatan akan jelas pada kecepatan 60 mil per jam, jarak yang dapat dilalui kurang dari 15 detik. Dengan demikian, hanya objek yang besar dan sederhana sajalah yang dapat dilihat pada kecepatan tinggi.
5. Seiring bertambahnya kecepatan, persepsi ruang menjadi berkurang.

Di dalam suatu rentang tingkat cahaya, biasanya dikaitkan dengan berkendara di malam hari dengan lampu besar, telah diketahui bahwa daya penglihatan berkurang dalam hal ketajaman, kontras, persepsi bentuk, dan persepsi kedalaman. Kemampuan untuk menentukan ukuran, posisi, dan gerakan sebuah objek juga menurun. Cahaya yang menyilaukan dari lampu besar mobil yang mendekat akan mengurangi kemampuan melihat. Penglihatan malam

hari dan efek cahaya silau telah terbukti memperlihatkan dampak negatif yang semakin besar seiring dengan penambahan usia.

2.2.3 Pendengaran dan Penciuman Pendengaran penting bagi pengemudi dan pejalan kaki. Meskipun sebenarnya tidak sepenting penglihatan ketika berkendara, pendengaran bisa bermanfaat dalam mencegah kecelakaan. Selain itu pengemudi, dengan kemampuan pendengarannya, juga dapat mengumpulkan berbagai informasi yang berguna mengenai mesin kendaraan; roda; suara-suara peringatan, seperti sirine, klakson, lonceng, radio; dan kemungkinan suara-suara lalu-lintas lainnya. Pengemudi yang mempunyai masalah pendengaran memiliki kemungkinan kecelakaan 1,8 kali lebih besar ketimbang pengemudi dengan pendengaran normal. Indera penciuman berguna bagi pengemudi untuk mendeteksi keadaan bahaya, seperti mesin panas, rem terbakar, rokok terbakar, dan kebakaran.

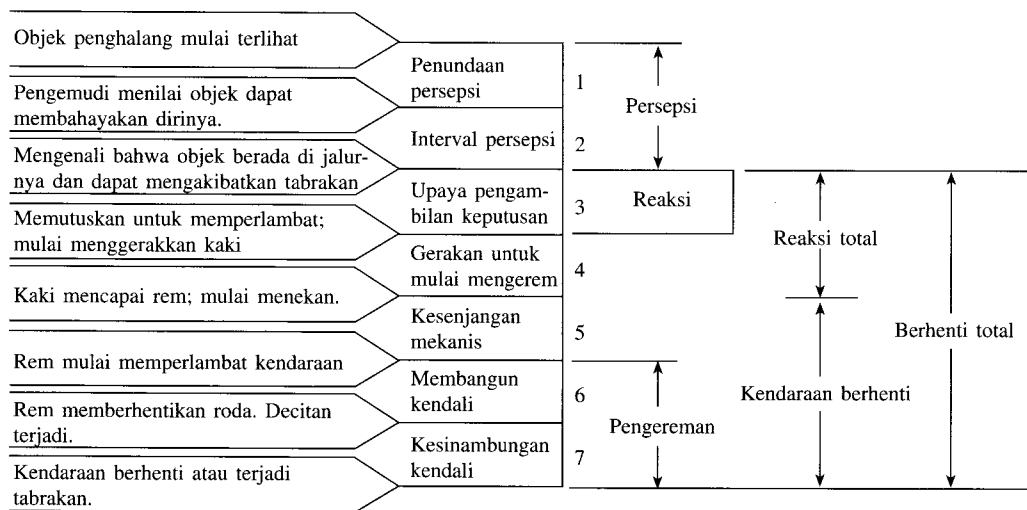
3. PERSEPSI REAKSI

Proses seseorang dalam menyimpulkan informasi yang penting dari lingkungannya disebut *persepsi*. Sebagaimana telah dibahas sebelumnya, penglihatan adalah faktor yang utama. Tujuan pengemudi untuk bergerak dari satu titik ke titik lainnya dicapai melalui tiga langkah: pengendalian (*control*), petunjuk (*guidance*), dan navigasi. Pengendalian berhubungan dengan manipulasi fisik kendaraan, melalui pengendalian lateral dan longitudinal oleh penyetiran, percepatan, dan pengereman. Informasi untuk pengendalian kendaraan diterima oleh pengemudi melalui mekanisme penginderaannya. Petunjuk berhubungan dengan tugas pengemudi untuk menentukan kecepatan yang aman dan memilih jalur pada jalan raya, yang pada dasarnya adalah proses pengambilan keputusan. Dengan demikian, mengikuti kendaraan lain, menyusul, dan meninggalkannya adalah aktivitas-aktivitas yang termasuk dalam kategori ini. Informasi berasal dari lingkungan (jalan), peralatan pengendali lalu-lintas, dan lalu-lintas di sekitarnya. Aktivitas-aktivitas yang berhubungan dengan kemampuan untuk merencanakan dan memutuskan sebuah perjalanan dari titik asal ke tempat tujuan termasuk ke dalam kategori navigasi, di mana informasinya berasal dari peta, rambu, dan tanda jalan.

Kadangkala pengemudi menerima informasi tetapi waktunya terlalu singkat untuk dapat diserap dengan baik sehingga akan mengakibatkan kebingungan dan ketegangan. Ketika informasi yang diserap oleh pengemudi terlalu banyak, mereka akan membuat pilihan berdasarkan prioritasnya. Biasanya, pengendalian informasi lebih penting dari pada petunjuk informasi, dan keduanya lebih penting daripada navigasi informasi.

Bermodalkan ini, kita harus memperhitungkan waktu yang dibutuhkan dari titik persepsi hingga ke titik reaksi. Waktu persepsi-reaksi ini adalah variabel kunci dalam kebanyakan pertimbangan desain. Persepsi dapat dibagi menjadi dua bagian: penundaan persepsi dan interval appersepsi. *Penundaan persepsi (perception delay)* adalah waktu antara saat melihat dan titik persepsi. *Interval appersepsi (apperception interval)* adalah waktu yang dibutuhkan untuk menentukan bahwa terdapat potensi bahaya. Waktu reaksi juga dibagi menjadi dua bagian—reaksi dan reaksi total—di mana reaksi termasuk ke dalam reaksi total. Reaksi melibatkan komponen analisis dan pengambilan keputusan dari proses reaksi pengemudi. Reaksi total meliputi reaksi ditambah respon pengendalian aktual (misalnya menginjakkan kaki pada rem). Nilai untuk waktu persepsi-reaksi yang biasa digunakan ialah 2,5 detik.

Sebuah contoh peristiwa di mana seorang pengemudi terpaksa berhenti pada sebuah jalan lokal diperlihatkan pada Gambar 4-3. Contoh perhitungan yang mengilustrasikan beberapa konsep ini akan diuraikan pada Subbab 8.



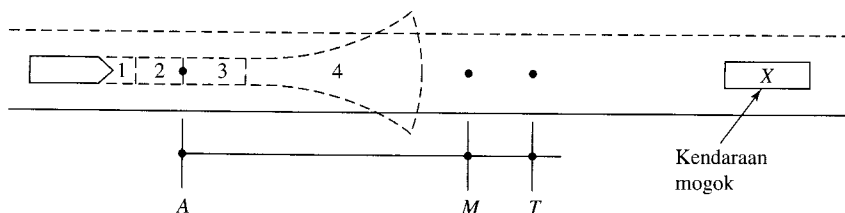
(1 + 2) = Persepsi
 3 = Reaksi
 (3 + 4) = Reaksi total
 (5 + 6 + 7) = Kendaraan berhenti
 (3 sampai 7) = Berhenti total

Gambar 4-3 Contoh pemberhentian sebuah kendaraan (Baker, 1975).

4. STRATEGI PENGEMUDI

Vanstrum dan Caples (1971) menguraikan sebuah model mengemudi sederhana yang berguna dalam memahami hubungan antara perilaku berkendara dan kemungkinan mengantisipasi kecelakaan. Performa seorang pengemudi bergantung kepada pengambilan keputusan mengenai tindakan yang harus diambil dan waktu di mana ia melakukannya, yang bergantung pada lokasi bahaya, kecepatan relatif pengemudi, dan karakteristik fisik dari ruang yang ada di antara pengemudi dan bahaya tersebut.

Gambar 4-4 memperlihatkan sebuah mobil, yang terletak di sebuah lajur, bergerak pada suatu kecepatan di mana mobil tersebut akan mencapai jarak 1 selama waktu persepsi, jarak 2 selama waktu yang dibutuhkan untuk mengambil keputusan, dan jarak 3 selama waktu reaksi. Jarak 4 merepresentasikan jarak berhenti minimum. Posisi di huruf *T* adalah titik terakhir di mana tindakan dapat diambil untuk menghindari kecelakaan. Jika bahaya berupa objek yang bergerak, maka *T* juga bergerak. *M* adalah titik mental pengemudi, yaitu titik terakhir di mana tindakan harus diambil (menurut perhitungan pengemudi), dan *A* adalah titik tindakan di mana



Gambar 4-4 Strategi pengemudi (Vanstrum dan Caples, 1971).

pengemudi bertindak. Batas aman pengemudi adalah jarak AM dan kesalahan (*error*) persepsi dari pengemudi terhadap situasi adalah jarak MT . Batas aman aktualnya adalah jarak AT ($AT = AM + MT$). Kuantitas AM dan MT biasanya positif dimulai dari M ke A dan T ke M , dengan menganggap arah dari kendaraan yang mogok (bahaya) menuju ke posisi pengemudi sebagai arah positif. Jika AT bernilai negatif, kecelakaan tidak dapat dihindari.

5. KARAKTERISTIK KENDARAAN

Karakteristik kendaraan, yang meliputi detail-detail seperti ukuran dan berat, akan menentukan kriteria-kriteria untuk pembuatan dan peningkatan fasilitas transportasi. Kendaraan penumpang dan truk adalah dua kelas kendaraan yang sering menjadi pertimbangan dalam desain geometris; rincian dari dua jenis kendaraan tersebut akan diberikan pada Bab 6 dengan tema kendaraan desain sebagaimana ditetapkan oleh *American Association of State Highway and Transportation Officials* (AASHTO, 2001). Bagian ini membahas tentang karakteristik kinematis dan dinamis kendaraan. Banyak konsep yang diperkenalkan pada bagian ini akan dibahas lebih rinci lagi pada Bab 6, termasuk aplikasi-aplikasinya.

6. KINEMATIKA KENDARAAN

Persamaan dasar yang menghubungkan gaya dan percepatan adalah

$$F = m \times a \quad (1)$$

di mana

F = gaya (lb)

m = massa

a = percepatan (ft/s^2)

Jika percepatan dianggap konstan, maka

$$\frac{dv}{dt} = a \quad (2)$$

$$\int_{v_0}^v dv = \int_0^t a \, dt \quad (3)$$

$$v = v_0 + at \quad (4)$$

Selain itu,

$$\frac{dx}{dt} = v \quad (5)$$

$$\int_0^x dx = \int_0^t (v_0 + at) \, dt \quad (6)$$

$$x = v_0 t + \frac{1}{2} at^2 \quad (7)$$

Jarak sebagai fungsi kecepatan dapat diperoleh dengan mensubstitusikan Persamaan (4) ke dalam Persamaan (7), yang menghasilkan

$$x = \frac{v^2 - v_0^2}{2a} \quad (8)$$

di mana

- a = percepatan (ft/s²)
- v = kecepatan (ft/s)
- v_0 = kecepatan awal (ft/s)
- x = jarak (ft)
- t = waktu (s)

6.1 Percepatan Tidak Konstan

Dalam situasi yang sebenarnya, kita seringkali harus memperhitungkan percepatan yang berubah-ubah. Kondisi semacam ini dapat dinyatakan dengan menghubungkan percepatan sebagai berbanding lurus dengan kecepatan, dan satu kasus khusus adalah membandingkan percepatan berbanding terbalik dengan kecepatan, sebagaimana rumus berikut:

$$\frac{dv}{dt} = \alpha - \beta v \quad (9)$$

di mana α dan β adalah konstanta. Dengan meneliti persamaan ini kita dapat mengetahui bahwa α adalah percepatan maksimum yang dapat dicapai, dan α/β adalah kecepatan maksimum yang mungkin. Dengan mengintegrasikan persamaan di atas di antara v dan v_0 , kita akan mendapatkan

$$\begin{aligned} \frac{-1}{\beta} \log (\alpha - \beta v) \Big|_{v_0}^v &= t \\ \frac{\alpha - \beta v}{\alpha - \beta v_0} &= e^{-\beta t} \\ v &= \frac{\alpha}{\beta} (1 - e^{-\beta t}) + v_0 e^{-\beta t} \end{aligned} \quad (10)$$

Persamaan untuk jarak sebagai fungsi dari waktu adalah

$$x = \frac{\alpha t}{\beta} - \frac{\alpha}{\beta^2} (1 - e^{-\beta t}) + \frac{v_0}{\beta} (1 - e^{-\beta t}) \quad (11)$$

dan hubungan percepatan–waktu adalah

$$\frac{dv}{dt} = (\alpha - \beta v_0) e^{-\beta t} \quad (12)$$

Contoh 1

Sebuah truk melaju dengan kecepatan 25 mil per jam mendekati sebuah rambu berhenti. Pada waktu t_0 dan pada jarak 60 ft, truk tersebut mulai melambat dengan perlambatan 14 ft/s². Dapatkah truk tersebut berhenti sebelum jarak 60 ft?

Jawaban

$$v = at + v_0$$

di mana

v = kecepatan akhir = 0 ft/s

$v_0 = 25 \text{ mil/jam} = 36,67 \text{ ft/s}$

$a = 14 \text{ ft/s}^2$

Sehingga,

$$0 = -14t + 36,67$$

yang menghasilkan

$$t = 2,62 \text{ detik}$$

Jarak yang ditempuh oleh truk dalam 2,62 detik adalah

$$\begin{aligned} x &= v_0 t + \frac{1}{2} a t^2 \\ &= (36,67)(2,62) + \frac{1}{2}(-14)(2,62)^2 \\ &= 48,02 \text{ ft} < 60 \text{ ft} \end{aligned}$$

yang berarti bahwa truk akan berhenti sebelum jarak 60 ft.

Cara yang lain, satu variasi Persamaan (8) dapat langsung dipergunakan untuk menentukan jarak berhenti truk tersebut.

$$x = \frac{v_0^2}{2a}$$

Kecepatan akhir, v , adalah 0 ketika kendaraan berhenti total. Di sini a adalah laju perlambatan. Sehingga,

$$x = \frac{(36,67)^2}{2 \times 14} = 48,02 \text{ ft}$$

Sebagaimana dalam Contoh 1, Persamaan (8) juga dapat digunakan untuk menentukan jarak pengereman suatu kendaraan, yang mengurangi kecepatan dari kecepatan awal, v_0 , hingga kecepatan akhir v . Dengan demikian, jarak pengereman, d , untuk suatu kendaraan dapat dinyatakan sebagai

$$d = \frac{v^2 - v_0^2}{2a} \quad (13)$$

Sering akan lebih mudah apabila kita langsung menggunakan kecepatan yang dinyatakan dalam mil/jam (mph). Dengan mengasumsikan $1 \text{ ft/s} = 0,682 \text{ mph}$ (atau $1,466 \text{ ft/s} = 1 \text{ mph}$), maka Persamaan (13) dapat dinyatakan sebagai

$$d = 1,075 \frac{V^2 - V_0^2}{a} \quad (14)$$

di mana V_0 adalah kecepatan awal dan V adalah kecepatan akhir dalam mph; d dalam ft, dan a , laju perlambatan, dalam ft/s^2 .

Pengaruh dari kemiringan (menanjak atau menurun) pada suatu jalan dapat diperhitungkan dengan memodifikasi Persamaan (14) sebagai berikut:

$$d = \frac{V^2 - V_0^2}{30 \left[\left(\frac{a}{32,2} \right) \pm G \right]} \quad (15)$$

di mana G adalah kemiringan jalan. Gunakan tanda plus (+) untuk jalan menanjak dan minus (–) untuk jalan menurun (AASHTO, 2001).

Laju perlambatan tergantung pada jenis dan kondisi ban dan permukaan jalan, serta kecepatan kendaraan. Dalam situasi darurat, dengan menggunakan tapak ban yang prima dan permukaan jalan yang bertekstur (sebagai contoh, di atas permukaan aspal kering pada kecepatan 20 mil/jam) laju perlambatan 16 ft/s^2 atau lebih dapat dicapai, dan dapat berkurang hingga 10 ft/s^2 atau lebih pada kecepatan 60 mil/jam. Pada permukaan jalan yang lebih kasar, kendaraan yang sama dapat mengalami perlambatan sebesar 24 ft/s^2 pada kecepatan yang lebih rendah, sedangkan laju perlambatan pada kecepatan yang lebih tinggi tidak akan jauh berbeda dengan yang terjadi pada permukaan aspal. Pembahasan lebih lanjut tentang laju perlambatan akan diuraikan pada Bab 6.

Contoh 2

Seorang pengemudi mobil yang tidak sabar terjebak di belakang sebuah truk yang bergerak lambat dengan kecepatan 20 mil/jam memutuskan untuk mendahului truk tersebut. Karakteristik percepatan mobil dinyatakan dengan

$$\frac{dv}{dt} = 3 - 0,04v$$

di mana v adalah kecepatan (ft/s), dan t adalah waktu (detik).

- Berapakah percepatan setelah 2, 3, 10, dan 120 detik?
- Berapakah kecepatan maksimum yang dapat dicapai oleh mobil tersebut?
- Kapankah percepatan mobil mendekati nol?
- Berapa jauh jarak yang ditempuh mobil dalam 120 detik?

Jawaban

$$\frac{dv}{dt} = 3 - 0,04v = (\alpha - \beta v_0) e^{-\beta t}$$

Diketahui $\alpha = 3 \text{ ft/s}^2$; $\beta = 0,04 \text{ detik}$; dan, $20 \text{ mph} = 29,33 \text{ ft/s}$.

- (a) Setelah 2 detik,

$$\begin{aligned} \frac{dv}{dt} &= [3 - (0,04) (29,33)] e^{-0,04 \times 2} \\ &= 1,686 \text{ ft/s}^2 \end{aligned}$$

Setelah 3 detik,

$$\frac{dv}{dt} = 1,618 \text{ ft/s}^2$$

Setelah 10 detik,

$$\frac{dv}{dt} = 1,223 \text{ ft/s}^2$$

Setelah 120 detik,

$$\frac{dv}{dt} = 0,015 \text{ ft/s}^2$$

- (b) Percepatan = $3,0 - 0,04v$. Maka, ketika percepatan = 0; $3,0 - 0,04v = 0$, sehingga $v = 75$ ft/s = 51,14 mph.
- (c) Percepatan mendekati nol dalam waktu kira-kira 400 detik.
- (d)
$$x = \frac{\alpha t}{\beta} - \frac{\alpha}{\beta^2} (1 - e^{-\beta t}) + \frac{v_0}{\beta} (1 - e^{-\beta t})$$
$$= \frac{3(120)}{0,04} - \frac{3(1 - e^{-0,04 \times 120})}{(0,04)^2} + \frac{29,33(1 - e^{-0,04 \times 120})}{0,04}$$
$$= 7868 \text{ ft} = 1,49 \text{ mil}$$

Contoh 3

Pengemudi yang disebutkan dalam Contoh 2 saat ini mendekati sebuah persimpangan jalan yang diatur oleh rambu berhenti dua-arah. Lalu-lintas di persimpangan itu sangat padat, dengan jeda waktu rata-rata 5 detik. Jika pengemudi ini dapat mencapai percepatan $dv/dt = (3 - 0,04v)$ ft/s² dan waktu persepsi-reaksinya adalah 0,75 detik, tentukan apakah ia dapat melewati persimpangan. Anggaplah bahwa lebar persimpangan adalah 24 ft dan panjang mobil adalah 20 ft.

Jawaban

Persamaan untuk menghitung jarak sebagai fungsi dari waktu adalah

$$x = \frac{\alpha t}{\beta} - \frac{\alpha}{\beta^2} (1 - e^{-\beta t}) + \frac{v_0}{\beta} (1 - e^{-\beta t})$$

Di sini $\alpha = 3$, $\beta = 0,04$, $t = 5 - 0,75 = 4,25$ detik, dan $v_0 = 0$:

$$x = \frac{3(4,25)}{0,04} - \frac{3(1 - e^{-0,04 \times 4,25})}{(0,04)^2} + 0$$
$$= 24,87 \text{ ft}$$

Sehingga, mobil ini hanya mampu mencapai 24,87 ft, padahal persimpangan plus panjang mobil adalah 44 ft. Dengan demikian, dia tidak dapat melewati persimpangan dengan aman.

Pembahasan

Jeda rata-rata arus utama kendaraan adalah 5 detik. Sehingga tidak bijaksana bagi pengemudi ini apabila tetap berupaya melalui persimpangan, khususnya jika deviasi standar dari jeda relatif besar. Diasumsikan bahwa pengemudi mobil mulai mempercepat kendaraannya ketika kendaraan di depannya telah melewati persimpangan.

7. KARAKTERISTIK-KARAKTERISTIK DINAMIK KENDARAAN BERGERAK

Sebuah kendaraan yang sedang bergerak harus mengatasi resistansi udara, resistansi akibat perputaran, resistansi akibat kemiringan permukaan jalan, dan resistansi gesekan. Resistansi udara berbanding lurus dengan luas penampang melintang kendaraan yang tegak lurus terhadap arah gerak, dan kuadrat dari kecepatan kendaraan. Telah diamati bahwa resistansi udara dapat

dihitung dengan persamaan berikut (Harwood, 1992)

$$F_a = 0,5 \frac{2,15 \rho C_D A V^2}{g} \quad (16)$$

di mana

F_a = resistansi udara (lb)

ρ = massa jenis udara (0,002385 lb/ft³ pada permukaan laut)

C_D = koefisien seret aerodinamis

A = luas penampang-melintang bagian depan (ft²)

V = kecepatan kendaraan (mil/jam)

g = percepatan gravitasi (32,2 ft/s²)

Koefisien seret aerodinamis (C_D) biasanya bernilai 0,4 untuk rata-rata mobil dan dapat bervariasi dari 0,15 sampai 0,5. Truk mempunyai koefisien seret bagian-depan yang lebih besar. Resistansi perputaran (*rolling resistance*) merepresentasikan suatu kombinasi antara gesekan internal (pada roda, as, stang kemudi, dan kopling), slip friksional antara ban dan permukaan jalan, kelenturan karet ban, perputaran di atas partikel kasar, dan keluar dari lubang jalan. Resistansi perputaran untuk kendaraan penumpang dan truk pada permukaan aspal yang mulus dapat ditentukan masing-masing dengan Persamaan (17a) dan (17b).

$$R_r = (C_{rs} + 2,15 C_{rv} V^2) W \quad (17a)$$

$$R_r = (C_a + 1,47 C_b V) W \quad (17b)$$

di mana

R_r = resistansi perputaran (lb)

C_{rs} = konstanta (0,012 untuk kendaraan penumpang)

C_{rv} = konstanta ($0,65 \times 10^{-6}$ detik²/ft² untuk kendaraan penumpang)

C_a = konstanta (0,2445 untuk truk)

C_b = konstanta (0,00044 detik/ft untuk truk)

V = kecepatan kendaraan (mph)

W = berat kotor kendaraan (lb)

Gaya-gaya yang bekerja pada sebuah kendaraan yang bergerak diperlihatkan pada Gambar 6-14; Gambar 6-2 memperlihatkan jarak percepatan dan jarak perlambatan untuk kendaraan penumpang. Perhatikanlah bahwa resistansi kemiringan (*grade resistance*) adalah komponen berat kendaraan yang bekerja pada permukaan jalan. Gesekan antara ban kendaraan dan aspal jalan menciptakan sebuah gaya yang bekerja dalam arah yang berlawanan dengan arah pergerakan maju.

Resistansi kemiringan dinyatakan oleh persamaan

$$R_g = \frac{WG}{100} \quad (18)$$

di mana

R_g = resistansi kemiringan (lb)

W = berat kotor kendaraan (lb)

G = gradien (%)

Daya maksimum yang bisa dihasilkan oleh sebuah mesin kendaraan adalah alat ukur dari kinerja mesin tersebut. Daya dapat dinyatakan dalam satuan tenaga kuda/*horsepower* (satu hp = 550 ft-lb/detik), berdasarkan tingkat waktu dari pekerjaan yang dilakukan. Daya sebenarnya yang digunakan oleh kendaraan bermotor untuk penggerak (*propulsion*), ditentukan dengan persamaan berikut:

$$P = 0,00267 RV \quad (19)$$

P = daya yang sebenarnya digunakan (hp)

R = jumlah dari resistansi terhadap gerak ($R_r + R_a + R_g$) (lb)

V = kecepatan kendaraan (mph)

Selain itu, gerakan menikung dan percepatan biasanya akan memerlukan daya tambahan.

Contoh 4

Pengemudi dengan penglihatan rata-rata 20/40 berjalan dengan kecepatan 55 mph pada sebuah lajur jalan tol, di mana ramp-ramp keluarnya dirancang untuk kecepatan 25 mph. Berapakah jarak minimum rambu dengan besar huruf 6 inci harus ditempatkan sebelum ramp keluar tersebut? Diketahui beberapa fakta berikut: waktu persepsi-reaksi = 2,5 detik; tingkat perlambatan = 5 ft/s²; jalan aspalnya terletak pada kemiringan jalan menurun sebesar 1%; pengemudi dengan penglihatan 20/20 dapat membaca rambu pada ketinggian 60 ft/inci.

Jawaban

Jarak yang dibutuhkan untuk mengerem dari kecepatan 55 menjadi 25 mil/jam:

$$d = \frac{V^2 - V_0^2}{30 \left[\left(\frac{a}{32,2} \right) - G \right]} = \frac{(55)^2 - (25)^2}{30 \left[\left(\frac{5}{32,2} \right) - 0,01 \right]} = 551 \text{ ft}$$

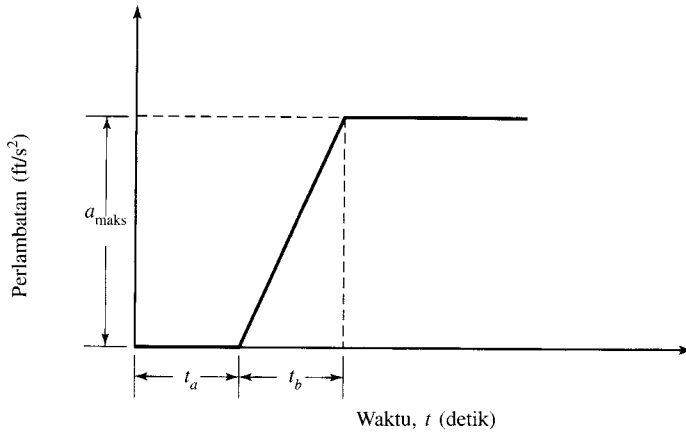
Pengemudi dengan penglihatan 20/20 dapat membaca rambu pada jarak $60 \times 6 = 360$ ft; sehingga, pengemudi dengan penglihatan 20/40 dapat membaca rambu pada jarak 180 ft. Waktu persepsi-reaksi adalah 2,5 detik dan jarak cakupannya = $(55 \times 5280 \times 2,5) / (60 \times 60) = 202$ ft. Dengan demikian rambu dapat ditempatkan pada $551 + 202 - 180 = 573$ ft (minimum) sebelum ramp keluar.

Pembahasan

Perhatikanlah bahwa ketidakpastian dalam menentukan jarak minimum adalah akibat adanya perbedaan ketajaman penglihatan pengemudi dan perbedaan waktu persepsi-reaksi. Kendalanya adalah bagaimana memilih nilai rata-rata yang sesuai agar dapat mencakup sebagian besar populasi pengemudi.

8. GESEKAN BAN

Meskipun di tempat lain gaya gesek dibahas dalam hubungannya dengan kendaraan, ini adalah tempat yang baik untuk mempelajari mekanisme gesekan-ban. Dua kasus akan dipelajari di sini: gaya yang bekerja pada ban tegak/diam (*standing tire*) dan gaya yang bekerja pada ban yang berputar.



Gambar 4-5 Diagram Perlambatan Ideal.

Pada kasus ban tegak, beban-beban kendaraan dipindahkan melalui roda kepada ban dan kemudian ke jalan. Mekanisme penahanan-beban (*load-carrying mechanism*) dari suatu ban terdiri dari dua bagian, yaitu kapasitas penahanan-beban dari material ban dan kapasitas penahanan-beban dari udara bertekanan di dalam ban. Tekanan pengembungan ban dikalikan dengan daerah sentuhan menghasilkan sekitar 85% kapasitas penahanan-beban pada ban, dan kekuatan dan kekakuan dasar dari dinding sisi untuk sisanya.

Dalam kasus ban berputar, situasinya agak berbeda. Resistansi perputaran dari ban adalah gaya yang diperlukan untuk menarik ban di atas suatu permukaan. Resistansi perputaran berhubungan dengan pelengkungan dan pelurusan alur/tapak ban ketika menyentuh dan meninggalkan permukaan jalan. Resistansi ini juga berhubungan dengan penyebaran tekanan yang tidak sama antara ban dan jalan. Ban radial, sebagai contoh, memiliki resistansi perputaran yang lebih rendah daripada ban konvensional.

Sebuah ban yang terkena tindakan pengereman akan membentuk suatu gaya traksi (tarikan) atau geseran (*shear*) antara permukaan kontak ban dan permukaan jalan. Torka pengereman yang bekerja antara sepatu rem dan *drum* (tromol) rem mengakibatkan ban melambat, atau dengan kata lain, kecepatan perputaran ban lebih rendah dari laju kendaraan. Perbedaan kecepatan ini mengakibatkan ban meluncur di atas permukaan jalan. Dalam kenyataannya sebuah ban yang decitnya dikunci memiliki 100% luncuran (slip), sedangkan ban yang bebas-berputar memiliki nilai luncuran 0. Luncuran ban, s_T dinyatakan dengan persamaan:

$$s_T = \frac{v_v - v_T}{v_v} \quad (20)$$

di mana

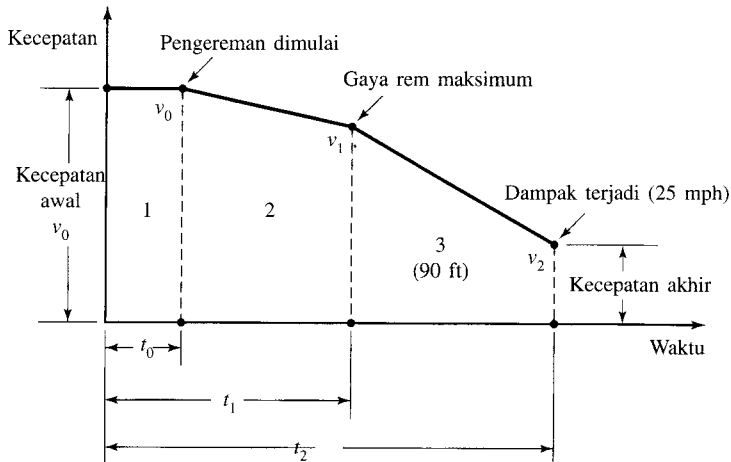
s_T = luncuran ban (%)

v_v = kecepatan kendaraan

v_T = kecepatan perputaran ban (ft/s)

Gaya traksi dibatasi oleh kondisi yang berhubungan dengan ban yang meluncur.

Kurva perlambatan versus waktu pada proses pengereman diperlihatkan pada Gambar 4-5. Penekanan pada pedal rem dimulai pada waktu 0. Setelah waktu tertentu, t_a , perlambatan mulai meningkat dan perlambatan maksimum a_{maks} dicapai setelah waktu t_b . Ketika seluruh roda sudah terkunci, jarak pengereman, s_f dinyatakan dengan persamaan



Gambar 4-E5 Kurva Waktu-Kecepatan untuk Contoh 5.

$$s = \frac{v^2}{2gf} = \frac{v^2}{64,4f} \quad (21)$$

di mana v adalah kecepatan kendaraan (ft/s), dan f adalah koefisien gesekan ban dengan jalan. Pada Persamaan (21), perlambatan diasumsikan mencapai nilai maksimumnya segera begitu pedal rem ditekan. Namun demikian, jarak berhenti yang sebenarnya dipengaruhi oleh penundaan waktu, seperti t_a , sehingga

$$s = \frac{v^2}{2gf} + \left(\frac{t_a + t_b}{2} \right) v \text{ feet} \quad (22)$$

di mana $gf = a = \text{perlambatan (ft/s}^2\text{)}$.

Contoh 5

Sebuah mobil sedang bergerak di atas jalan dengan kecepatan tetap ketika pada waktu nol si pengemudi menyadari adanya bahaya. 0,8 detik kemudian, pengemudi ini mengerem kendaraannya (mengunci rodanya), yang mengakibatkan kendaraannya meluncur sejauh 90 ft dengan arah yang sama, di mana pada waktu itu mobil ini menabrak mobil lainnya yang diam pada kecepatan 25 mil/jam (Gambar 4-E5). Permukaan jalan kering dan $f = 0,75$. Pengemudi melaju di atas jalan raya yang menerapkan batas kecepatan 55 mil/jam. Apakah pengemudi ini telah melewati batas kecepatan?

Jawaban

Dalam persoalan ini terdapat tiga tahap:

1. Pengemudi mengangkat kakinya dari pedal gas dan memindahkannya ke pedal rem—kecepatan tetap.
2. Perlambatan meningkat dari nol menjadi maksimum.
3. Sistem pengereman mengunci roda dan perlambatan diasumsikan tetap konstan sampai kendaraan menabrak kendaraan yang berhenti.

Selama tahap pertama, diasumsikan waktu reaksi pengemudi adalah 0,5 detik. Diasumsikan perlambatan naik secara linier (dari nol sampai roda terkunci). Kecepatan awal (ft/s) dinyatakan

dengan

$$v_0 = v_1 + \frac{a}{2} (t_1 - t_0) \quad (23)$$

Selama tahap ketiga, perlambatan diasumsikan tetap, sehingga

$$\begin{aligned} v_1 &= \sqrt{v_2^2 + 2as} = \sqrt{(25 \times 1,466)^2 + 2(0,75)(32,2)(90)} \\ &= 75,43 \text{ ft/s} = 51,46 \text{ mph} \end{aligned}$$

Sebagaimana telah diungkapkan, koefisien gesekan harus dikalikan dengan $32,2 \text{ ft/s}^2$ untuk menghasilkan perlambatan kendaraan yang sebenarnya. Sekarang

$$\begin{aligned} v_0 &= v_1 + \frac{a}{2} (t_1 - t_0) \\ &= 75,43 + (0,5) (0,75) (32,2) (0,8 - 0,5) \\ &= 79,05 \text{ ft/s} = 53,92 \text{ mph} \end{aligned}$$

Jelas terlihat bahwa pengemudi tersebut tidak melewati batas kecepatan 55 mph.

Pembahasan

Seseorang dapat mengatakan bahwa seandainya si pengemudi memiliki waktu reaksi yang lebih lambat, maka yang akan terjadi adalah sebaliknya. Diasumsikan bahwa waktu reaksi pengemudi ini adalah 0,8 detik, dengan demikian kecepatan awalnya adalah 51,46 mil per jam.

RANGKUMAN

Pada bab ini, kita telah menggabungkan beberapa topik yang berhubungan dengan elemen manusia, kendaraan, dan lingkungan. Karakteristik-karakteristik dari ketiga elemen tersebut diuraikan dan ditempatkan dalam format yang dapat dipahami. Pengemudi memiliki dua fungsi di dalam sistem, yaitu menggerakkan sistem dari satu tempat ke tempat lainnya pada periode waktu tertentu dan bertindak sebagai sistem pengarah kepada kendaraan. Informasi yang diserap dari lingkungan sekitar diterjemahkan ke dalam sejumlah keputusan yang berguna bagi keselamatan kendaraan. Biasanya, karakteristik pengemudi memegang peranan penting sepanjang waktu, termasuk kemampuan persepsi dan reaksi mereka. Konsep dasar kinematika kendaraan juga telah dijelaskan, dengan memperhitungkan percepatan tetap dan tidak tetap. Selain itu, karakteristik-karakteristik dinamis kendaraan juga telah dibahas.

DAFTAR PUSTAKA

- | | |
|--|--|
| <p>AMERICAN ASSOCIATION OF STATE HIGHWAY AND TRANSPORTATION OFFICIALS (AASHTO) (2001). <i>A Policy on Geometric Design of Highways and Streets</i>, 4th ed., AASHTO, Washington, DC.</p> <p>BAKER, J. S. (1975). <i>Traffic Accidents Investigation Manual</i>, Traffic Institute, Northwestern University,</p> | <p>Evanston, IL.</p> <p>FEDERAL HIGHWAY ADMINISTRATION (FHWA) (1980). <i>Highway Safety and Traffic Study Program</i>, prepared by, Northwestern University, Evanston, IL.</p> <p>HADDON, W. (1980). <i>Advances in the Epidemiology of Injuries as a Basis of Public Policy</i>, <i>Public Health</i></p> |
|--|--|

- Reports*, vol. 95, no. 5, pp. 411-421.
- HARWOOD, D. W. (1992). Vehicle Operating Characteristics, in *Traffic Engineering Handbook*, Institute of Transportation Engineers, Washington, DC.
- HOMBURGER, W. S., J. W. HALL, R. C. LOUTZENHEISER, and W. R. REILLY (1996) *Fundamentals of Traffic Engineering*, University of California Press, Berkeley, CA.
- LAY, M. G. (1986) *Handbook of Road Technology*. Vols. 1 and 2, Gordon and Breach, London.
- SHINAR, D. S. (1978). *Psychology on the Road*, Wiley, New York.
- VANSTRUM, R. C., and B. G. CAPLES (1971). *Perception Model for Describing and Dealing with Driver Involvement in Highway Accidents*, Highway Research Record 365, Highway Research Board, Washington, DC.

SOAL-SOAL LATIHAN

1. Nomor plat kendaraan yang mempunyai tinggi huruf 3 inci dapat dibaca oleh orang yang mempunyai penglihatan 20/20 pada jarak maksimum 50 ft untuk setiap inci ketinggian huruf. Seseorang dengan penglihatan 20/40 bersaksi di pengadilan berkaitan dengan kasus seorang pengemudi yang melebihi batas kecepatan. Saksi ini menyatakan bahwa ia dapat melihat plat nomor kendaraan dengan jelas ketika ia berjarak 80 ft di belakang kendaraan tertuduh. Jika ia menyatakan bahwa ia membutuhkan waktu 1,5 detik untuk membaca nomor plat kendaraan tersebut, bagaimanakah kebenaran kesaksian saksi ini?
2. Seorang pengemudi mobil yang berjalan pada kecepatan 55 mph menggerakkan arah pandangan matanya dari tengah-tengah jalan ke arah kiri dan mencoba fokus pada seorang anak yang bermaksud untuk menyeberang jalan. Tentukan jarak yang ditempuh oleh mobil ini ketika pandangan mata pengemudi bergerak dan mengarah pada objek tersebut.
3. Seorang pengemudi dengan penglihatan 20/40 membutuhkan waktu 2 detik untuk membaca rambu yang ditempatkan di tepi jalan tol. Seseorang dengan penglihatan 20/20 dapat membaca rambu ini pada jarak 225 ft. Apakah menurut Anda pengemudi memiliki cukup waktu untuk membaca rambu pada kecepatan 55 mph? Pada kecepatan berapakah ia mampu membaca rambu tersebut? Uraikan jawaban Anda.
4. Lihat Contoh 1 pada bab ini. Sebuah truk yang bergerak pada kecepatan 30 mph mendekati sebuah rambu berhenti dengan perlambatan 15 ft/s^2 . Dapatkah truk tersebut berhenti tepat pada waktunya, dengan asumsi bahwa kondisi lainnya sama.
5. Lihat Contoh 3 pada bab ini. Jika jeda rata-rata (*average gap*) adalah 10 detik, dapatkah pengemudi tersebut melewati persimpangan, dengan kondisi lainnya yang sama. Uraikan jawaban Anda dengan catatan bahwa jedanya adalah suatu nilai rata-rata.
6. Seorang pengemudi dengan penglihatan 20/20 yang melintas dengan kecepatan 55 mph pada lajur median bermaksud keluar dari jalan tol melalui ramp keluarnya. Jika huruf berukuran 5 inci digunakan, berapakah jarak minimum di mana rambu harus diletakkan di depan ramp ini? (Beberapa asumsi yang dapat membantu adalah: waktu persepsi-reaksi = 2 detik; kecepatan saat keluar = 30 mph; perlambatan = $4,8 \text{ ft/s}^2$; pengemudi dengan penglihatan 20/20 dapat membaca rambu dengan tinggi huruf 55 ft/inci). Berikan uraian atas jawaban Anda.
7. Sebuah truk telah dirancang agar tetap bergerak dengan kecepatan konstan 55 mph pada suatu jalan dengan kemiringan +5%. Berat truk ini adalah 10.000 lb ketika penuh muatan. Berapakah resistansi total udara diam terhadap truk? Berapakah resistansinya pada permukaan jalan rata? Berapa tenaga-kuda yang harus diberikan kepada roda truk pada kemiringan tersebut? Apabila nilai efisiensi adalah 80%, berapa tenaga-kudakah tingkat mesin yang harus digunakan? Gunakan:

$$C_D = \text{parameter daya tahan udara} = 0,40$$

$$A = \text{penampang melintang maksimum} = 100 \text{ ft}^2$$

Uraikan jawaban Anda.

8. Sebuah truk yang kehilangan kendali di atas sebuah jalan aspal akhirnya berhenti di bahu jalan. Jejak yang ditinggalkan truk di atas aspal memiliki panjang 230 ft dan di bahu jalan 40 ft. Tentukan kecepatan truk pada awal tergelincir. (Buatlah asumsi rentang nilai perlambatan untuk kedua permukaan jalan tersebut dan berikan uraian atas jawaban Anda).
9. Seorang wanita berkendara mengikuti kendaraan lain di depannya pada sebuah jalan raya dua-lajur di malam hari. Ia menjaga jarak aman sebesar panjang-satu-mobil dengan kecepatan 10 mph. Namun ketika bergerak di sebuah jalan menurun dengan kecepatan 50 mph, kendaraan di depannya menabrak bagian belakang sebuah truk diam yang tidak berlampu. Pada kecepatan berapakah mobil wanita ini akan menabrak kendaraan hancur di depannya? Diasumsikan bahwa waktu persepsi-reaksi antara 0,5 dan 0,2 detik, perlambatan $11,2 \text{ ft/detik}^2$, panjang mobil 18 ft, dan kemiringan jalan 5%.
10. Perlambatan kendaraan umumnya dipengaruhi oleh kondisi rem atau jenis ban dan permukaan jalan. Sebuah kendaraan dengan kondisi rem yang rusak berat akan memiliki nilai perlambatan kecil, apapun kondisi alur ban atau permukaan jalannya. Jelaskan pengertian pernyataan ini. Apakah yang akan terjadi seandainya semua bannya baru, rem dalam kondisi prima, tetapi permukaan jalan ditutupi es? Uraikan jawaban Anda.
11. Seorang pengemudi menginjak pedal rem dan berhasil menghindari tabrakan beruntun di sebuah jalan raya. Kendaraan ini meninggalkan jejak sepanjang 92 ft. Dengan mengasumsikan perlambatan $= 19 \text{ ft/s}^2$, tentukan apakah pengemudi melanggar batas kecepatan 45 mph di jalan ini jika ia berjalan di atas jalan menurun dengan kemiringan 27 derajat. Hitung pula gesekan rata-rata yang terjadi.
12. Diasumsikan bahwa seorang pengemudi dengan penglihatan normal dapat membaca sebuah rambu dari jarak 50 ft untuk tiap inci ketinggian huruf, dan bahwa jalan tol dibangun berdasarkan penglihatan pengemudi 20/40. Tentukan berapa jauh dari sebuah ramp keluar sebuah petunjuk arah dapat dipasang untuk memberikan penurunan kecepatan yang aman dari 60 hingga 25 mph, jika diketahui waktu persepsi-reaksi adalah 1,5 detik, perlambatan $= 9,7 \text{ ft/s}^2$, ukuran huruf 8 inci, dan permukaan jalan tol mendatar.
13. Sebuah mobil menabrak pohon pada kecepatan 38 mph pada jalan menurun berkemiringan 4%. Apabila jejak yang terlihat di jalan adalah 120 ft, dengan kondisi jalan kering, ($a = 14,5 \text{ ft/s}^2$) yang diikuti oleh jejak sepanjang 250 ft di bahu jalan rumput ($a = 6,5 \text{ ft/s}^2$), estimasilah kecepatan awal kendaraan.
14. Sebuah mobil digunakan dalam suatu pengujian di atas jalan beton yang rata, tapi basah, untuk memperoleh laju-laju perlambatan untuk persamaan jarak-berhenti. Jarak-berhenti minimum yang diperoleh adalah 402 ft pada kecepatan awal 65 mph. Berapakah tingkat perlambatan yang dicapai pada pemberhentian ini?
15. Seorang pengemudi dengan penglihatan 20/40 membutuhkan waktu 3 detik untuk membaca sebuah rambu yang ditempatkan di sebuah jalan tol. Seseorang dengan penglihatan 20/20 dapat membaca rambu ini pada jarak 230 ft. Perhatikan dengan perhitungan apakah pengemudi tersebut mempunyai cukup waktu untuk membaca rambu ketika berkendara dengan kecepatan 58 mph. Pada kecepatan minimum berapakah pengemudi harus berkendara agar dapat membaca rambu tersebut?

Karakteristik Arus Lalu-Lintas

1. PENDAHULUAN

Pada Bab 4, kita telah mempelajari karakteristik-karakteristik dasar pengemudi, kendaraan, dan lingkungan. Pada bab ini, kita akan mengkaji lebih jauh tentang arus kendaraan yang bergerak secara individual atau berkelompok pada suatu jalan atau jalur, yang dipengaruhi oleh perilaku manusia dan dinamika kendaraan.

Adalah hal yang sangat penting untuk dapat merancang dan mengoperasikan sistem-sistem transportasi dengan tingkat efisiensi dan keselamatan yang paling baik. Memahami prinsip-prinsip dasar teori arus lalu-lintas merupakan salah satu cara untuk mencapai tujuan tersebut. Dewasa ini, tidak ada teori pemersatu tentang arus lalu-lintas. Kebanyakan pengetahuan yang terdapat dalam bidang ini lebih bersifat empiris.

Di dalam bab ini, kita mempelajari topik ini pada tingkat dasar, dengan harapan bahwa informasi yang tersedia akan membantu para insinyur untuk memahami masalah-masalah yang muncul dalam bidang ini, dan menyediakan perangkat dasar untuk memecahkan masalah-masalah tersebut.

2. SIFAT-SIFAT ARUS LALU-LINTAS

Arus lalu-lintas adalah suatu fenomena yang kompleks. Cukup dengan sekedar pengamatan sepintas saja ketika kita berkendara di sebuah jalan tol (*freeway*), kita dapat mengetahui bahwa pada saat arus lalu-lintas meningkat, umumnya kecepatan akan menurun. Kecepatan juga akan menurun ketika kendaraan-kendaraan cenderung berkumpul menjadi satu entah dengan alasan apa pun.

Arus lalu-lintas adalah sebuah proses stokastik, dengan variasi-variasi acak dalam hal karakteristik kendaraan dan karakteristik pengemudi serta interaksi di antara keduanya. Pernyataan ini membutuhkan penjelasan lebih lanjut. Adalah suatu hal umum untuk membuat model-model dari kenyataan di mana akibat dari variasi peluang diabaikan atau dirata-ratakan, di mana sebarang input yang diketahui akan memberikan output yang dapat diduga secara tepat. Model-model ini adalah model deterministik. Situasi lainnya adalah memperhitungkan variasi acak dalam model dan kemudian melihat probabilitas dari hasil-hasil yang ada. Metode

pembuatan model stokastik ini memperhitungkan berbagai variasi di antara hasil-hasil yang mungkin, bukan hanya hasil rata-rata (Lay, 1986a, 1986b).

3. PENDEKATAN UNTUK MEMAHAMI ARUS LALU-LINTAS

Interaksi antara kendaraan dan pengemudinya, dan juga dengan kendaraan-kendaraan lainnya, adalah suatu proses yang sangat kompleks. Terdapat tiga pendekatan utama untuk memahami dan menghitung arus lalu-lintas. Pendekatan pertama adalah pendekatan makroskopis yang melihat arus lalu-lintas secara keseluruhan. Didasarkan pada analogi fisik seperti arus panas dan arus fluida, pendekatan makroskopis adalah pendekatan yang paling tepat untuk mempelajari fenomena arus dalam keadaan stabil dan dengan demikian paling baik menjelaskan efisiensi operasional keseluruhan dari sistem. Pendekatan kedua adalah pendekatan mikroskopis yang melihat respon dari setiap kendaraan secara terpisah-pisah. Di sini kombinasi pengemudi-kendaraan individu akan dikaji, seperti dalam pergerakan kendaraan. Pendekatan ini digunakan secara luas di dalam upaya pengamanan jalan raya. Pendekatan ketiga adalah pendekatan faktor-manusia. Pada dasarnya, pendekatan ini berusaha mendefinisikan mekanisme bagaimana seorang pengemudi (dan kendaraannya) menempatkan dirinya terhadap kendaraan lainnya dan terhadap jalan raya atau sistem pengarah lainnya. Perhatikanlah bahwa pendekatan mikroskopis berhubungan sangat erat dengan pendekatan faktor-manusia (Drew, 1968).

Salah satu cara untuk menggabungkan ketiga pendekatan di atas adalah dengan mengambisumsi awal bahwa aliran lalu-lintas tersusun atas kendaraan-kendaraan dan pengemudi-pengemudi yang identik, sehingga akan mempermudah pengintegrasian berbagai pendekatan tersebut. Kombinasi yang paling sederhana juga mengasumsikan bahwa kendaraan bergerak pada kecepatan yang sama dan bahwa jarak antar kendaraan bergantung pada kecepatan. Dengan kata lain, perilaku kendaraan dipengaruhi oleh kendaraan lainnya di dalam suatu aliran lalu-lintas. Memang, kecepatan diasumsikan sebagai satu-satunya variabel yang mempengaruhi arus lalu-lintas. Biasanya, terdapat satu arus kendaraan tertentu untuk suatu kecepatan yang diperoleh dari aliran lalu-lintas (Lay, 1986a, 1986b).

4. PARAMETER YANG BERHUBUNGAN DENGAN ARUS LALU-LINTAS

Paling tidak terdapat delapan variabel atau ukuran dasar yang digunakan untuk menjelaskan arus lalu-lintas, dan beberapa karakteristik aliran lainnya diturunkan dari variabel-variabel ini. Tiga variabel utama adalah kecepatan (v), volume (q), dan kepadatan (k). Tiga variabel lainnya yang digunakan dalam analisis arus lalu-lintas adalah *headway* (h), *spacing* (s), dan *occupancy* (R). Juga berhubungan dengan spacing dan headway adalah dua parameter lain, yaitu clearance (c) dan gap (g).

1. *Kecepatan* didefinisikan sebagai suatu laju pergerakan, seperti jarak per satuan waktu, umumnya dalam mil/jam (mph) atau kilometer/jam. Karena begitu beragamnya kecepatan individual di dalam aliran lalu-lintas, maka kita biasanya menggunakan kecepatan rata-rata. Sehingga, jika waktu tempuh $t_1, t_2, t_3, \dots, t_n$, diamati untuk n kendaraan yang melalui suatu ruas jalan sepanjang L , maka kecepatan tempuh rata-ratanya adalah

$$v_s = \frac{L}{\sum_{i=1}^n \frac{t_i}{n}} = \frac{nL}{\sum_{i=1}^n t_i} \quad (1)$$

di mana

v_s = kecepatan tempuh rata-rata atau kecepatan rata-rata ruang (mph)

L = panjang ruas jalan raya (mil)

t_i = waktu tempuh dari kendaraan ke i untuk melalui bagian jalan (jam)

n = jumlah waktu tempuh yang diamati

Contoh 1

Tiga kendaraan melalui ruas sepanjang 1 mil pada sebuah jalan raya dan pengamatan berikut telah dilakukan:

Kendaraan A: 1,2 menit $\rightarrow 0,0200$ jam/mil = 50 mil/jam

Kendaraan B: 1,5 menit $\rightarrow 0,0250$ jam/mil = 40 mil/jam

Kendaraan C: 1,7 menit $\rightarrow 0,0283$ jam/mil = 35,3 mil/jam

Berapakah kecepatan tempuh rata-rata ketiga kendaraan tersebut?

Jawaban

$$\begin{aligned}\text{Waktu tempuh rata-rata} &= \frac{0,0200 + 0,0250 + 0,0283}{3} \\ &= 0,0244 \text{ jam/mil}\end{aligned}$$

$$\text{Kecepatan tempuh rata-rata} = 1/0,0244 = 40,91 \text{ mil/jam.}$$

Kecepatan tempuh rata-rata yang telah dihitung disebut *kecepatan rata-rata ruang* (*space mean speed*). Disebut kecepatan rata-rata “ruang” karena penggunaan waktu tempuh rata-rata pada dasarnya memperhitungkan rata-rata berdasarkan panjang waktu yang dipergunakan setiap kendaraan di dalam “ruang”.

Cara lain untuk menentukan “kecepatan rata-rata” dari sebuah aliran lalu-lintas adalah dengan menentukan *kecepatan rata-rata waktu* (v_t). Ini adalah rata-rata aritmetik dari kecepatan yang diukur pada seluruh kendaraan yang melintasi, katakanlah, suatu titik yang tetap di tepi jalan dalam rentang waktu tertentu, di mana dalam kasus ini kecepatan individualnya dikenal dengan istilah kecepatan “spot” (*spot speed*).

$$v_t = \frac{\sum_{i=1}^n v_i}{n} \quad (2)$$

di mana v_i adalah kecepatan spot, dan n adalah jumlah kendaraan yang diamati.

Contoh 2

Tiga kendaraan melewati sebuah penunjuk-jarak dengan kecepatan 50, 40, dan 35,3 mil/jam. Berapakah kecepatan rata-rata waktu dari ketiga kendaraan tersebut?

Jawaban

$$\text{Kecepatan rata-rata waktu} = v_t = \frac{\sum_{i=1}^n v_i}{n} = \frac{50 + 40 + 35,3}{3} = 41,77 \text{ mil/jam}$$

Dapat diperlihatkan bahwa kecepatan rata-rata waktu adalah rata-rata aritmetik dari kecepatan-kecepatan spot, sedangkan kecepatan rata-rata ruang adalah rata-rata harmonisnya. Kecepatan rata-rata waktu selalu lebih besar daripada kecepatan rata-rata ruang, kecuali pada situasi di

mana seluruh kendaraan mempunyai kecepatan yang sama. Dapat diperlihatkan bahwa suatu hubungan yang sangat mirip antara kedua kecepatan rata-rata tersebut adalah

$$v_t = v_s + \frac{\sigma_s^2}{v_s} \quad (3)$$

Juga,

$$v_s = v_t - \frac{\sigma_t^2}{v_t} \quad (4)$$

di mana σ_s^2 adalah varian dari kecepatan-kecepatan rata-rata ruang. Sebagai contoh, jika v_t diketahui sebesar 41,77 mil/jam dan varian, $\sigma_t^2 = [\Sigma(v_i - v_t)^2]/n$, sama dengan 37,8, maka dari Persamaan (4), v_s dapat diketahui sebesar 40,91 mil/jam, dan hasil ini sesuai dengan angka yang ditunjukkan pada Contoh 1.

2. Volume dan tingkat arus adalah dua ukuran yang berbeda. *Volume* adalah jumlah sebenarnya dari kendaraan yang diamati atau diperkirakan melalui suatu titik selama rentang waktu tertentu. Sedangkan *tingkat arus* (*rate of flow*) adalah jumlah kendaraan yang melalui suatu titik dalam waktu kurang dari 1 jam, tetapi diekivalenkan ke tingkat rata-rata per jam. Sehingga, suatu volume dari 200 kendaraan yang diamati dalam periode 10 menit sama dengan tingkat arus dari $(200 \times 60)/10 = 1200$ kendaraan per jam. Perlu dicatat bahwa bukan 1200 kendaraan melalui titik pengamatan selama jam pengamatan tersebut, tetapi betul bahwa kendaraan-kendaraan tersebut melalui titik ini pada tingkat tersebut untuk 10 menit.

Contoh 3

Hitunglah tingkat arus kendaraan dari data berikut:

Periode waktu	Volume (kendaraan)
4:00–4:15	700
4:16–4:30	812
4:31–5:00	1635
Total	3147

Jawaban

Meskipun volume = 3147 kendaraan/jam, tingkat arus dalam tiga kali periode waktu masing-masing adalah 2800, 3248 dan 3270 kendaraan/jam.

3. *Kepadatan (density) atau konsentrasi* didefinisikan sebagai jumlah kendaraan yang menempati suatu panjang tertentu dari lajur atau jalan, dirata-ratakan terhadap waktu, biasanya dinyatakan dengan kendaraan per mil (kend/mil). Perhitungan langsung untuk kepadatan dapat diperoleh melalui foto udara, tetapi umumnya dihitung dengan Persamaan (5) apabila kecepatan dan tingkat arus diketahui.

$$q = v \times k \quad (5)$$

di mana

q = tingkat arus (kend/jam)

v = kecepatan tempuh rata-rata (mil/jam)

k = kepadatan rata-rata (kend/mil)

Sehingga, suatu ruas jalan raya dengan tingkat arus 1.350 kendaraan/jam dan kecepatan tempuh rata-rata 45 mil/jam akan memiliki kepadatan $k = (1.350/45 = 30 \text{ kendaraan/mil})$. Jarak antar kendaraan di dalam aliran lalu-lintas dinyatakan dengan kepadatan, yang merupakan parameter penting dalam menjelaskan kebebasan bermanuver dari kendaraan (*freedom of maneuverability*).

4. Spacing dan headway adalah dua karakteristik tambahan dari aliran lalu-lintas. Spacing (s) didefinisikan sebagai jarak antara dua kendaraan yang berurutan di dalam suatu aliran lalu-lintas yang diukur dari bumper depan satu kendaraan ke bumper depan kendaraan di belakangnya. Headway adalah waktu antara dua kendaraan yang berurutan ketika melalui sebuah titik pada suatu jalan. Baik spacing maupun headway berhubungan dengan kecepatan, tingkat arus, dan kepadatan.

$$\text{Kepadatan rata-rata } (k), \text{ kend/mil} = \frac{5280, \text{ ft/mil}}{\text{spacing rata-rata } (s), \text{ ft/kend}} \quad (6)$$

$$\text{Headway rata-rata } (h), \text{ detik/kend} = \frac{\text{spacing rata-rata } (s), \text{ ft/kend}}{\text{kecepatan rata-rata } (v), \text{ ft/detik}} \quad (7)$$

$$\text{Tingkat arus rata-rata } (q), \text{ kend/jam} = \frac{3600, \text{ detik/jam}}{\text{headway rata-rata } (h), \text{ detik/kend}} \quad (8)$$

Spacing antar kendaraan di dalam suatu lajur lalu-lintas secara umum dapat diamati melalui foto udara. Headway antar kendaraan-kendaraan dapat dihitung dengan menggunakan *stop-watch*, ketika kendaraan-kendaraan tersebut melalui sebuah titik pengamatan pada suatu lajur.

5. *Lane occupancy* (tingkat hunian lajur) adalah salah satu ukuran yang digunakan dalam pengawasan jalan tol. Jika seseorang dapat menghitung panjang badan dari semua kendaraan pada suatu bagian jalan tertentu dan menghitung perbandingan (rasio):

$$R = \frac{\text{jumlah dari panjang kendaraan}}{\text{panjang bagian-jalan}} = \frac{\sum L_i}{D} \quad (9)$$

maka R dapat dibagi dengan panjang rata-rata dari sebuah kendaraan untuk memperoleh perkiraan kepadatan (k).

Contoh 4

Empat kendaraan, dengan panjang 18, 20, 21, dan 22 ft, berada di jalan tol yang panjangnya 500 ft. Berapakah pengisian lajur dan kepadatan jalan tol tersebut?

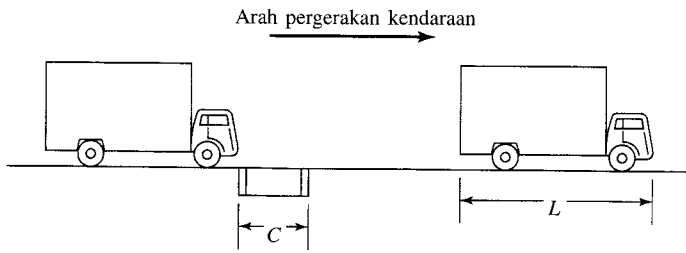
Jawaban

$$R = \frac{18 + 20 + 21 + 22}{500} = 0,162$$

$$\text{Panjang rata-rata kendaraan} = 20,25 \text{ ft}$$

$$k = 0,162 \times \frac{5280}{20,25} = 42,24 \text{ kendaraan/mil}$$

Lane Occupancy (LO), dapat juga dinyatakan sebagai perbandingan antara waktu ketika kendaraan ada di lokasi pengamatan pada lajur lalu-lintas terhadap waktu pengambilan sampel.



L = Panjang kendaraan

C = Jarak antara loop-loop pada detektor

Gambar 5-1 Detektor Loop.

$$LO = \frac{\text{waktu total ketika detektor kendaraan dilalui}}{\text{waktu observasi total}} = \frac{\sum t_0}{T} \quad (10)$$

Gambar 5-1 memperlihatkan penggunaan suatu detektor dalam bidang teknik jalan-ray. Di sini

$$t_0 = \frac{L + C}{v_s}$$

di mana L adalah panjang rata-rata kendaraan, dan C adalah jarak antara loop pada detektor

Kita perlu mengetahui panjang efektif kendaraan yang diukur oleh detektor untuk menghitung lane occupancy. Kepadatan dapat dihitung dengan menggunakan persamaan

$$k = \frac{LO \times 5280}{L + C} \quad (11)$$

Dalam kebanyakan kasus, detektor segera menyala begitu bumper depan melewati detektor dan tetap menyala sampai bumper belakang meninggalkan detektor.

Contoh 5

Selama periode 60 detik, sebuah detektor dilewati oleh beberapa kendaraan dengan waktu-waktu berikut: 0,34; 0,38; 0,40; 0,32; dan 0,52 detik. Tentukan nilai-nilai q , k , dan v . (Gunakan asumsi panjang detektor-loop adalah 10 ft dan panjang rata-rata kendaraan adalah 20 ft.)

Jawaban

$$\sum t_0 = 0,34 + 0,38 + 0,40 + 0,32 + 0,52 = 1,96 \text{ detik}$$

$$n = 5$$

$$LO = 1,96 \times \frac{100\%}{60} = 3,27\%$$

Panjang efektif rata-rata dari satu kendaraan ditambah jarak antara loop pada detektor diasumsikan $20 + 10 = 30$ ft; maka

$$k = \frac{3,27 \left(\frac{5280}{30} \right)}{100} = 5,75 \text{ kendaraan/mil}$$

$$v_s = \frac{n(L + C)}{\sum t_0} = \frac{5 \times 30}{1,96} = 76,53 \text{ ft/detik} = 52,18 \text{ mil/jam}$$

$$q = k \times v_s = 5,75 \times 52,18 = 300 \text{ kendaraan/jam}$$

Perlu dicatat bahwa dalam contoh di atas, digunakan panjang efektif rata-rata dari suatu kendaraan ditambah jarak antara loop pada detektor yang totalnya adalah 30 ft. Asumsi ini bisa menimbulkan suatu kesalahan yang fatal, karena penggabungan antara mobil dan truk di dalam suatu aliran lalu-lintas dapat secara signifikan mengubah jarak efektif kendaraan yang digunakan dalam perhitungan (Gerlough dan Huber, 1975).

Penerapan lane occupancy sangatlah penting dalam sistem pengawasan dan sistem pengendalian *on-line*. Sebagai contoh, pengawasan jalan tol dilakukan dengan cara memonitor lane occupancy dari sejumlah lokasi, di antaranya ramp masuk tol. Pencatatan *lane occupancy* yang benar sangat berguna dalam mengevaluasi performa aliran lalu-lintas.

6. Clearance dan gap berkorespondensi dengan parameter spacing (ft) dan headway (detik). Keempat perhitungan ini diperlihatkan pada Gambar 5-2. Selisih antara spacing dan clearance jelas adalah panjang rata-rata kendaraan (ft). Demikian pula, selisih antara headway dan gap adalah ekuivalen waktu dari panjang rata-rata sebuah kendaraan (L/v):

$$g = h - \left(\frac{L}{v} \right) \quad (12)$$

dan

$$c = g \times v \quad (13)$$

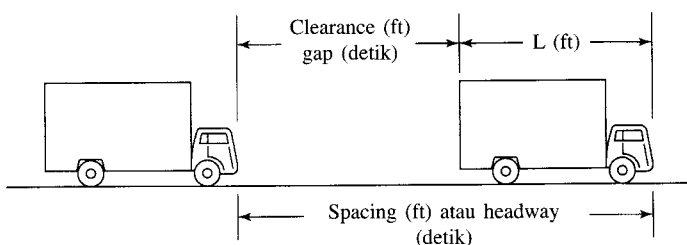
di mana

- g = gap rata-rata (detik)
- L = panjang kendaraan rata-rata (ft)
- c = spacing rata-rata (ft)
- h = headway rata-rata (ft)
- v = kecepatan rata-rata (ft/detik)

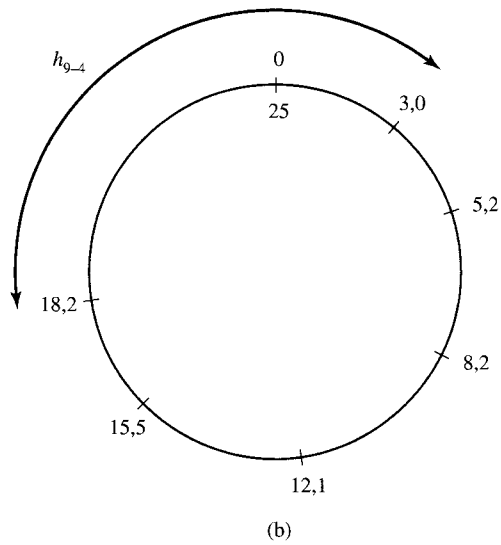
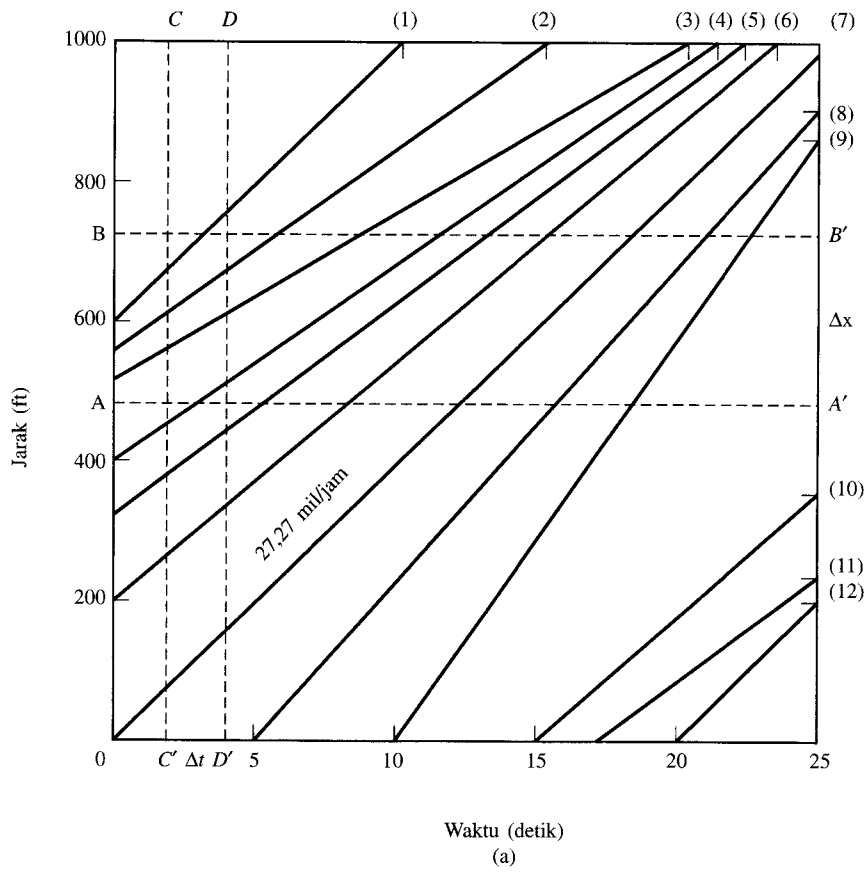
Contoh 6

Gambar 5-E6 (a) memperlihatkan suatu plot ruang waktu dari kendaraan di dalam suatu domain ruang-waktu. Berdasarkan informasi yang terdapat di dalam gambar ini, beberapa parameter dapat dihitung.

- a. Seorang pengamat menghitung enam kendaraan melintasi garis A–A' dalam 25 detik. Hitunglah arus kendaraan per jam (q).



Gambar 5-2 Konsep Clearance-Gap dan Spacing-Headway.



Gambar 5-E6 Data untuk Contoh 6: (a) Plot Ruang-Waktu untuk Jalur Kendaraan; (b) Headway.

$$q = \frac{n}{T} = \frac{6 \text{ kendaraan}}{25 \text{ detik}} = 0,24 \text{ kendaraan/detik} = 864 \text{ kendaraan/jam}$$

- b. Sebuah penghitung waktu (*timer*) dimulai pada waktu 0,0 detik sampai dengan 25 detik, dan waktu-waktu di mana bagian depan kendaraan melintasi titik observasi A-A' dimuat dalam data berikut ini [lihat Gambar 5-E6 (b)]:

Kendaraan	Waktu Melintasi (detik)
4	3,0
5	5,2
6	8,2
7	12,1
8	15,5
9	18,2

Berapakah masing-masing headway-nya dan berapakah headway rata-ratanya? Karena terdapat enam kendaraan, hanya lima kendaraan pertama yang dapat ditentukan secara langsung.

$$h_{4-5} = 2,2$$

$$h_{5-6} = 3,0$$

$$h_{6-7} = 3,9$$

$$h_{7-8} = 3,4$$

$$h_{8-9} = 2,7$$

$$h_{9-4} = 9,8$$

$$\text{Total} = 25,0$$

Headway yang terakhir dapat dihitung sebagaimana pada Gambar 5-E6 (b):

$$\text{Headway rata-rata, } h = \frac{25}{6} = 4,17 \text{ detik}$$

$$\text{atau } h = 3600/864 = 4,17 \text{ detik}$$

- c. Sebuah alat pencatat waktu telah mencatat waktu-waktu ketika kendaraan-kendaraan melalui dua titik, AA' dan BB', sebagaimana diperlihatkan pada Gambar 5-E6(a). Hitunglah kecepatan rata-rata 4, 5, 6, 7, 8, dan 9, dengan mengasumsikan bahwa jarak alat adalah 240 ft.

$$\text{Kecepatan rata-rata waktu } v_t = \frac{161,03}{6} = 26,84 \text{ mil/jam}$$

$$\text{Kecepatan rata-rata ruang } v_s = \frac{6 \times 240}{38,8} = 37,11 \text{ ft/detik} = 25,30 \text{ mil/jam}$$

Kendaraan	Waktu untuk Melintasi AA'	Waktu untuk Melintasi BB'	Catatan Waktu (detik)	Kecepatan (mil/jam)
4	3,0	11,5	8,5	19,25
5	5,2	13,1	7,9	20,71
6	8,2	15,2	7,0	23,38
7	12,1	18,1	6,0	27,27
8	15,5	20,7	5,2	31,46
9	18,2	22,4	4,2	38,96
Total			38,8	161,03

Perhatikanlah bahwa dalam menghitung kecepatan rata-rata ruang, pembilangnya adalah total jarak yang ditempuh oleh enam kendaraan di dalam panjang jalan dan penyebutnya adalah total waktu enam kendaraan yang digunakan di bagian jalan.

- d. Pada waktu pengamatan, terdapat tujuh kendaraan yang dihitung di bagian 1000 ft dari lajur jalan. Hitunglah kepadatan (k).

$$k = \frac{7 \text{ kendaraan} \times 5280 \text{ ft/mil}}{1000 \text{ ft}} = 36,96 \text{ kendaraan/mil}$$

- e. Dua buah foto udara diambil, dengan selang waktu 2 detik, dan posisi-posisi dari kendaraan 1 sampai 7 diperlihatkan pada Gambar 5-E6(a). Ketujuh kendaraan tersebut adalah kendaraan yang sama dengan kendaraan pada soal (d) di atas. Hitunglah kecepatan rata-rata dan arus rata-rata.

Kendaraan	Posisi 1	Posisi 2	Feet
1	680	760	80
2	610	670	60
3	560	615	55
4	450	510	60
5	380	440	60
6	270	350	80
7	60	160	100
Total			495

$$v_s = \frac{495}{7 \times 2} = 35,35 \text{ ft/detik} = 24,11 \text{ mil/jam}$$

$$q = kv = 36,96 \times 24,11 = 891 \text{ kendaraan/jam}$$

- f. Gunakanlah diagram ruang-waktu [Gambar 5-E6(a)] dan lintasan dari keduabelas kendaraan pada tabel berikut ini.

Kendaraan, i	Jarak Tempuh, x_i (kendaraan-ft)	Waktu Tempuh, t (detik)
1	400	10
2	440	15
3	480	20
4	600	21
5	680	22
6	800	23
7	1000	25
8	920	20
9	880	15
10	360	10
11	240	8
12	200	5
	$\Sigma x_i = 7000$	$\Sigma t = 194$

Berdasarkan domain ruang-waktu, hitunglah arus, kepadatan, dan kecepatan.

$$q = \frac{\Sigma x_i}{A} \qquad k = \frac{\Sigma t_i}{A} \qquad v_s = \frac{\Sigma x_i}{\Sigma t_i}$$

di mana

x_i = jarak yang ditempuh oleh kendaraan ke- i di dalam domain ruang-waktu
 t_i = waktu yang dibutuhkan oleh kendaraan ke- i untuk menempuh domain ruang-waktu
 A = luas domain ruang-waktu
 $A = 1000 \times 25 = 25.000$ ft-detik
 $q = \frac{7000 \text{ kendaraan-ft}}{25.000 \text{ ft-detik}} = 0,28 \text{ kendaraan/ft} = 1008 \text{ kendaraan/jam}$
 $k = \frac{194 \text{ kendaraan-detik}}{25.000 \text{ ft-detik}} = 7,76 \times 10^{-3} \text{ kendaraan/ft} = 40,97 \text{ kendaraan/mil}$
 $v_s = \frac{7000 \text{ kendaraan-ft}}{194 \text{ kendaraan-detik}} = 36,08 \text{ ft/detik} = 24,60 \text{ mil/jam}.$

5. KATEGORI-KATEGORI ARUS LALU-LINTAS

Arus kendaraan pada fasilitas-fasilitas transportasi secara umum dapat diklasifikasikan menjadi dua kategori:

- 1. *Arus tak terhenti (uninterrupted flow)* dapat terjadi pada fasilitas-fasilitas transportasi yang tidak mempunyai elemen-elemen tetap, seperti rambu lalu-lintas, yang terletak di luar arus lalu-lintas, yang mengakibatkan berhentinya arus lalu-lintas. Dengan demikian kondisi-kondisi arus lalu-lintas adalah hasil dari interaksi antar kendaraan dan antara kendaraan dengan karakteristik-karakteristik geometris dari sistem jalan. Selain itu, pengemudi kendaraan tidak perlu terpaksa untuk berhenti akibat faktor eksternal arus lalu-lintas.
- 2. *Arus terhenti (interrupted flow)* terjadi pada fasilitas transportasi yang mempunyai elemen-elemen tetap yang mengakibatkan pemberhentian secara periodik terhadap arus lalu-lintas. Elemen-elemen semacam ini meliputi rambu lalu-lintas, rambu berhenti, dan berbagai rambu pengendali lainnya. Peralatan-peralatan ini mengakibatkan lalu-lintas berhenti (atau menjadi sangat lambat) secara periodik tidak peduli berapapun banyaknya lalu-lintas yang ada. Dalam hal ini, dengan sendirinya pengemudi diperkirakan akan berhenti jika dan ketika diharuskan oleh elemen tetap yang merupakan bagian dari fasilitas tersebut.

Perlu menjadi catatan bahwa arus tak terhenti dan arus terhenti adalah istilah-istilah yang menjelaskan fasilitasnya, bukan menjelaskan kualitas arusnya. Suatu jalan tol yang macet di mana lalu-lintasnya nyaris terhenti masih digolongkan ke dalam fasilitas arus tak terhenti,

Tabel 5-1 Jenis-jenis Fasilitas Transportasi

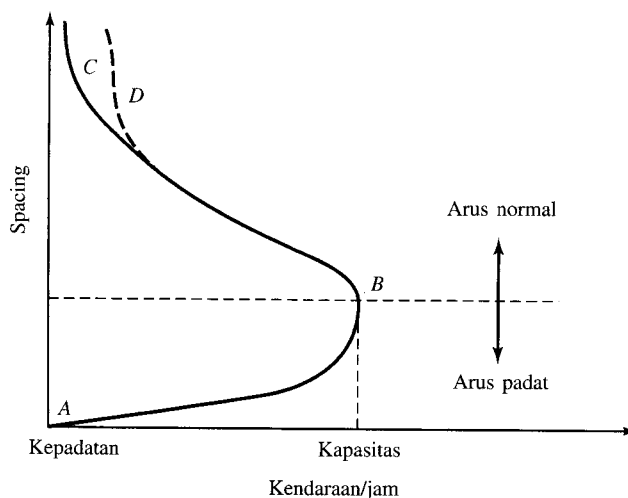
Arus tak terhenti
Jalan tol
Jalan raya multilajur
Jalan raya dua-lajur
Arus terhenti
Jalan raya dengan lampu lalu-lintas
Jalan raya tanpa lampu lalu-lintas dengan rambu berhenti
Jalan-jalan arteri
Transit
Jalur pejalan kaki
Jalur sepeda

karena kemacetan terjadi akibat faktor internal arus lalu-lintas. Sebuah sistem lampu lalu-lintas dengan pengaturan waktu yang baik pada suatu jalan arteri dapat menghasilkan arus lalu-lintas yang nyaris tak terhenti, tetapi arus semacam ini akan cenderung terhenti karena beberapa alasan, terutama sebagai bagian dari sistem, sehingga diklasifikasikan sebagai arus terhenti (TRB, 2000).

Tabel 5-1 memperlihatkan sebuah contoh mengenai tipe fasilitas yang berada di dalam kategori fasilitas arus tak terhenti dan terhenti. Perlu dicatat bahwa penggolongan ini hanyalah perkiraan. Sebagai contoh, jalan tol adalah bentuk termurni dari fasilitas dengan arus tak terhenti, dan jalan raya multi-lajur dan dua-lajur juga beroperasi dalam kondisi arus yang nyaris tak terhenti, khususnya pada ruas-ruas yang panjang antara tanda-tanda interupsi, seperti ruas dimana jarak antara rambu melebihi 2 mil. Arus pejalan kaki, pengendara sepeda, dan fasilitas transit (bis dan sejenisnya) umumnya digolongkan ke dalam arus terhenti, meskipun kondisi arus tak terhenti bisa saja terjadi, misalnya pada jalur khusus bis tanpa pemberhentian.

6. MODEL ARUS LALU-LINTAS TAK TERHENTI

Model ini paling mudah dijelaskan dengan bantuan kurva khusus seperti yang diperlihatkan dalam Gambar 5-3. Bayangkanlah beberapa kendaraan, dikemudikan oleh pengemudi normal pada sebuah bagian jalan tol. Begitu kecepatan dan spacing antar kendaraan meningkat, kecepatan akan mendekati kecepatan bebas (*free speed*), dan pengemudi menentukan kecepatannya sendiri ketika tidak terganggu oleh kendaraan lainnya di dalam arus lalu-lintas (titik *C*). Situasi pada titik *A* berguna untuk dipahami di mana titik ini mewakili kepadatan lalu-lintas maksimum yang terjadi ketika lalu-lintas berhenti total, nyaris serupa dengan parkir dalam barisan yang panjang. Garis putus-putus merepresentasikan perilaku arus normal seandainya seluruh pengemudi mempunyai kecepatan bebas yang sama (titik *D*). Pengamatan yang telah dilakukan menunjukkan bahwa para pengemudi tidak terpengaruh oleh kendaraan lain di dalam lajur lalu-lintas pada arus sekitar 900 kendaraan/jam/lajur atau kurang, yang sekitar setengah dari kapasitas arus (titik *B*). Perhatikan bahwa di dalam daerah arus padat (*forced flow*), setiap kendaraan mempunyai spacing dan clearance minimum.



Gambar 5-3 Kurva Arus-Kecepatan.

7. ANALISIS HUBUNGAN KECEPATAN, ARUS, DAN KEPADATAN

Jika telah dihipotesiskan bahwa terdapat suatu hubungan linier antara kecepatan lalu-lintas pada suatu lajur lalu-lintas tak terhenti dengan kepadatan lalu-lintas (kendaraan/mil), seperti pada Gambar 5-4, maka hubungan ini secara matematis dapat ditulis

$$v = A - Bk$$

di mana

v = Kecepatan rata-rata kendaraan (mil/jam)

k = Kepadatan rata-rata kendaraan (kendaraan/mil)

A, B = Parameter yang ditentukan secara empiris

Karena arus dari suatu aliran lalu-lintas tak-terhenti adalah hasil kali dari kepadatan dan kecepatan, kita mendapatkan:

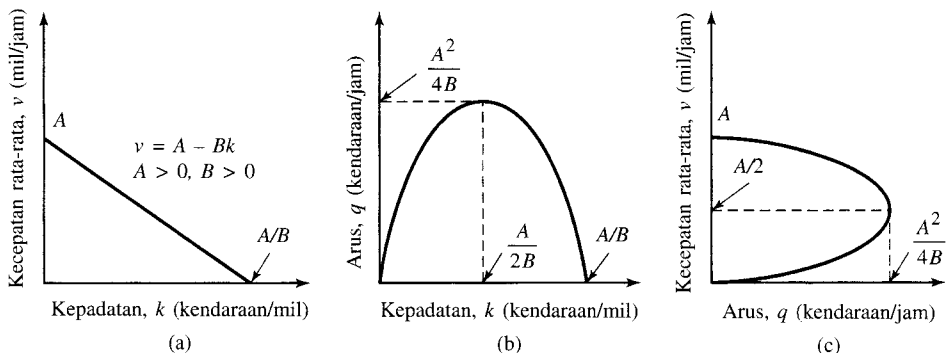
$$q = kv = Ak - Bk^2 \quad (14)$$

$$q = kv = \frac{(v - A)v}{-B} = \frac{A}{B}v - \frac{v^2}{B}$$

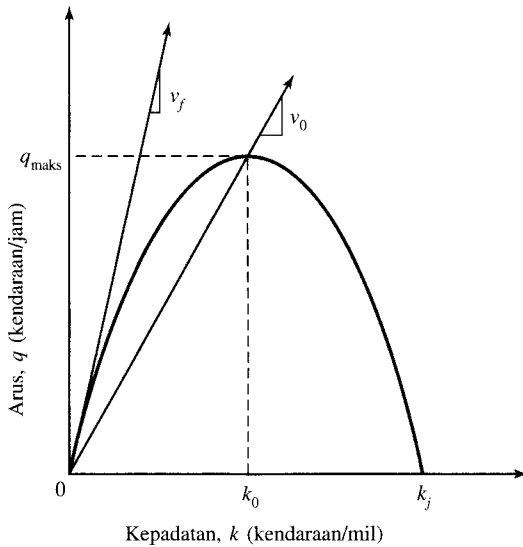
Pada saat kepadatan hampir nol, kecepatan bebas rata-rata sama dengan A , dan pada saat kecepatan hampir nol, kepadatan macet (*jam density*) sama dengan A/B . Arus maksimum terjadi pada sekitar setengah kecepatan bebas rata-rata dan sama dengan $A^2/4B$.

Gambar 5-5 memperlihatkan hubungan teoretis antara arus (q) dan kepadatan (k) pada sebuah lajur jalan raya, direpresentasikan oleh sebuah parabola. Seiring dengan meningkatnya arus, kepadatan pun meningkat, sampai kapasitas lajur jalan raya tersebut tercapai. Titik arus maksimum (q_{maks}) menunjukkan kepadatan "optimal" (k_0). Dari titik ini menuju ke kanan, arus menurun ketika kepadatan meningkat. Pada kepadatan macet (k_j), arusnya hampir nol. Pada lajur jalan tol, titik ini bisa diibaratkan dengan lalu-lintas yang nyaris berhenti, di mana lajur jalan tol tampak seperti tempat parkir.

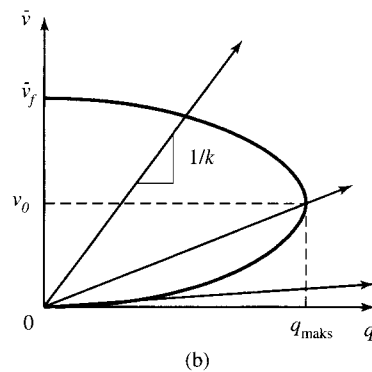
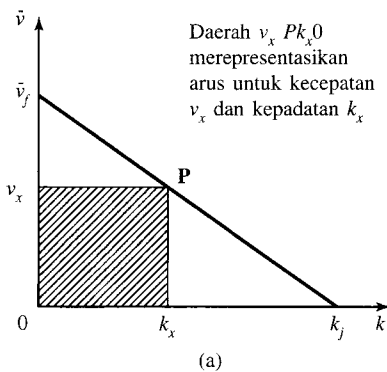
Jika garis-garis digambar mulai dari titik nol melalui sebarang titik pada kurva, kemiringan (*slope*) garis-garis tersebut merepresentasikan kecepatan rata-rata ruang. Garis dengan kemiringan v_f menunjukkan kecepatan bebas rata-rata dan merupakan garis singgung kurva. Kecepatan ini mungkin terjadi ketika kepadatan hampir nol.



Gambar 5-4 Kurva-kurva Kecepatan-Arus-Kepadatan.



Gambar 5-5 Kurva Arus-Kepadatan.

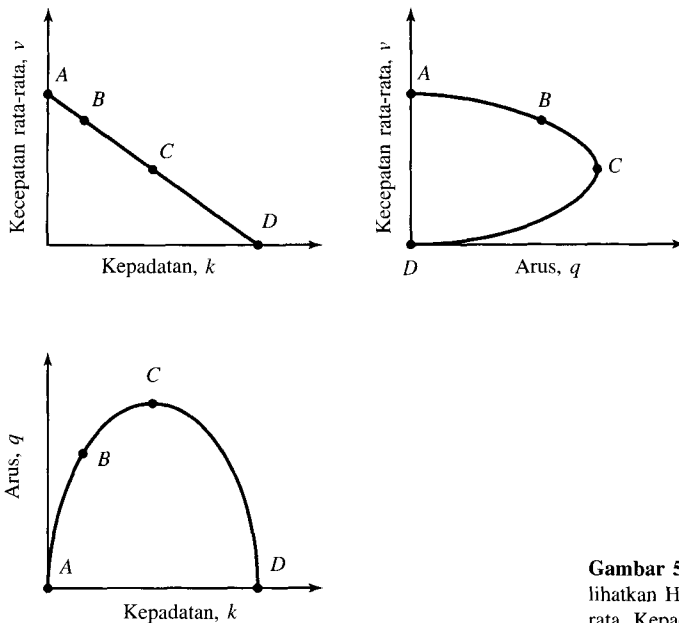


Gambar 5-6 Kurva Kecepatan-Kepadatan dan Kurva Kecepatan-Arus.

Gambar 5-6(a) memperlihatkan hubungan teoretis antara kecepatan dan kepadatan yang dinyatakan dengan sebuah garis lurus. Hubungan ini tidak sepenuhnya benar, tetapi cukup berguna dalam praktik. Suatu arus dapat dihitung cukup dengan mengalikan koordinat kecepatan dan koordinat kepadatan untuk setiap titik pada garis lurus tersebut.

Akhirnya, Gambar 5-6(b) memperlihatkan hubungan teoretis antara kecepatan dan arus. Garis-garis yang digambar dari titik nol menuju sebarang titik pada kurva memiliki kemiringan yang berbanding terbalik dengan kepadatan.

Diagram hipotetis yang menghubungkan kecepatan rata-rata, kepadatan, dan arus yang diperlihatkan pada Gambar 5-7 dan kondisi-kondisinya masing-masing di jalan paling mudah diuraikan sebagai berikut. Pada titik A, kepadatan mendekati nol, dan hanya terdapat sangat sedikit kendaraan yang berada di jalan; volume juga mendekati nol dan kendaraan yang sedikit ini dapat menentukan kecepatannya masing-masing, atau berpindah lajur tanpa ada kendala. Pada titik B jumlah kendaraan telah meningkat, tetapi kondisinya adalah kondisi “arus bebas” dan hampir tidak ada hambatan, meskipun hambatan-hambatan semacam ini terus meningkat dengan stabil hingga titik C tercapai. Dari B ke C, kondisi arus dapat disebut “normal”, tetapi



Gambar 5-7 Kurva-kurva yang Memperlihatkan Hubungan antara Kecepatan Rata-rata, Kepadatan, dan Arus.

seiring dengan kepadatan yang meningkat, pengemudi mulai sulit melakukan manuver dengan kendaraan dan berpindah lajur semauanya. Di sekitar titik C, kondisi lalu-lintas mulai memperlihatkan ketidakstabilan, dan kecepatan serta kepadatan mengalami turun naik dengan volume sedikit berubah. Titik C adalah titik volume maksimum, dan peningkatan kepadatan selanjutnya akan menurunkan kecepatan. Keadaan semacam ini disebut *arus padat (forced flow)* dan terjadi dari titik C ke titik D. Arus di dekat titik D menurun sampai ke dekat titik nol, di mana mobil-mobil berbaris sangat mepet. Titik D dikenal dengan istilah *kepadatan macet (jam density)*. Pengemudi akan merasakan kondisi mengemudi terbaik dari A ke B, kondisi yang relatif baik dari B ke C, tetapi kondisi yang semakin memburuk dari C ke D.

8. STUDI EMPIRIS TENTANG KARAKTERISTIK ARUS LALU-LINTAS

8.1 Model-model Makroskopis Arus Lalu-lintas

(a) Model Greenshields Model umum yang menghubungkan kecepatan, arus, dan kepadatan yang telah dibahas sejauh ini adalah model linier yang diusulkan oleh Greenshields (1935). Dengan dapat dilakukannya pengukuran atas kecepatan, arus, dan kepadatan, beberapa ahli riset mulai mengembangkan model arus lalu-lintas berdasarkan pencocokan kurva dan uji statistik yang sebenarnya. Evaluasi modelnya dilakukan melalui dua jalur:

1. Hubungan q - k - v diuji dari sisi ketepatannya dengan data lapangan yang sebenarnya.
2. Hubungan dianggap memenuhi kondisi batas-batas tertentu (lihat Gambar 5-4):
 - a. Arus sama dengan nol ketika kepadatan sama dengan nol.
 - b. Arus sama dengan nol ketika kepadatan maksimum.
 - c. Kecepatan bebas rata-rata terjadi pada waktu kepadatan sama dengan nol.
 - d. Kurva-kurva arus-kepadatan berbentuk cembung (dengan kata lain, terdapat sebuah titik arus maksimum).

$$v_s = v_f - \left(\frac{v_f}{k_j} \right) k \quad (15)$$

Model Greenshields menghasilkan kemiringan dan perpotongan dengan cara membuat garis lurus untuk data plot atau dengan menggunakan regresi linier. Model ini memenuhi keempat kondisi batas di atas, meskipun secara statistik hasilnya relatif buruk (sebagai contoh, koefisien penentuan yang rendah dan standar error yang tinggi).

(b) Model Greenberg Greenberg (1959) mengembangkan model untuk melakukan pengukuran kecepatan, arus, dan kepadatan di *Lincoln Tunnel* (Terowongan Lincoln) yang menghasilkan sebuah model kecepatan-kepadatan. Ia menggunakan analogi konsep arus-fluida, dengan menggunakan bentuk berikut:

$$v_s = C \ln (k_j/k) \quad \text{di mana } C \text{ adalah konstanta} \quad (16)$$

Dengan mensubstitusikan q/k untuk v_s

$$\begin{aligned} q &= Ck \ln (k_j/k) \\ &= Ck (\ln k_j - \ln k) \end{aligned} \quad (17)$$

Dengan mendiferensiasi q terhadap k , kita akan memperoleh

$$dq/dk = C[k(-1/k) + (\ln k_j - \ln k)] = 0$$

Dan agar q maksimum,

$$C (-1 + \ln k_j - \ln k) = 0$$

Sehingga,

$$\ln k_j - \ln k = 1 \quad (18)$$

dan

$$\ln (k_j/k) = 1 \quad (19)$$

Dengan mensubstitusikan Persamaan (19) ke dalam Persamaan (16),

$$v_s (\text{maksimum}) = C \quad (20)$$

maka C adalah kecepatan ketika arus maksimum.

Model Greenberg memperlihatkan *goodness-of-fit* (tingkat ketepatan) yang lebih baik daripada model Greenshields, meskipun model ini melanggar kondisi-kondisi batas karena kepadatan nol hanya akan tercapai ketika nilai kecepatan tak terhingga.

Contoh 7

Hubungan kecepatan-kepadatan pada lalu-lintas di satu bagian lajur jalan tol dapat diperkirakan menurut persamaan berikut:

$$v_x = 18,2 \ln (220/k)$$

- Berapakah arus, kecepatan, dan kepadatan maksimum di lajur jalan ini?
- Berapakah nilai kepadatan penuh sesak?

Jawaban

a. $q = vk = 18,2k \ln(220/k) = 18,2k (\ln 220 - \ln k)$

Arus maksimum terjadi ketika $dq/dk = 0$. Maka,

$$\begin{aligned}\ln k_j - \ln k &= 1 \\ \ln 220 - \ln k &= 1 \\ 5,394 - \ln k &= 1 \\ k &= 80,93 \text{ kendaraan/mil, ketika } q \text{ maksimum} \\ q_{\text{maks}} &= (18,2) (80,93) (1) = 1473 \text{ kendaraan/jam dan } v = 1473/80,93 \\ &= 18,2 \text{ mph}\end{aligned}$$

b. Kepadatan macet adalah 220 kendaraan/mil.

Contoh 8

Diketahui $k_j = 130$ kendaraan/mil; dan $k = 30$ kendaraan/mil, ketika $v_s = 30$ mil/jam. Tentukan q_{maks} .

Jawaban

$$v_s = C \ln(k_j/k)$$

Jika $k = 30$ kendaraan/mil, $v_s = 30$ mil/jam. Maka:

$$\begin{aligned}2230 &= C \ln(130/30) \\ C &= 30/1,466 = 20,459 = v_s \text{ pada arus maksimum} \\ v_s &= 20,459 \ln(k_j/k)\end{aligned}$$

Untuk arus maksimum (q),

$$\begin{aligned}\ln k_j - \ln k &= 1 \\ \ln 130 - \ln k &= 1\end{aligned}$$

atau

$$\begin{aligned}\ln k &= 3,8675 \\ k &= 47,82 \text{ kendaraan/mil} \\ q_{\text{maks}} &= (20,459) (47,82) (1) \\ &= 978 \text{ kendaraan/jam}\end{aligned}$$

8.2 Hubungan Kecepatan-Kepadatan Umum dan Linier

Gambar 5-8 memperlihatkan beberapa grafik yang menunjukkan hubungan arus dan kecepatan, spacing dan kecepatan, kepadatan dan kecepatan. Perhatikan bahwa asumsi dasar yang dipakai di sini adalah hubungan kepadatan-kecepatan bersifat tidak linier. Kontur-kontur kesamaan spacing, kesamaan arus, dan kesamaan kecepatan diletakkan pada gambarnya masing-masing berdasarkan persamaan dasarnya, $\text{spacing} = \text{kecepatan}/\text{arus}$. Demikian pula, pada setiap gambar diperlihatkan titik-titik kepadatan macet dan arus maksimum.

Jika diasumsikan terdapat hubungan linier antara kepadatan dan kecepatan, masing-masing grafik menghasilkan lima grafik baru yang secara berurutan diperlihatkan pada Gambar 5-9. Seperti telah diuraikan sebelumnya, asumsi ini pada awalnya dibuat oleh Greenshields (1935)

berdasarkan data empiris. Perhatikan pula bahwa dalam kasus ini, arus adalah fungsi parabola dari kecepatan dan bahwa arus maksimum terjadi pada setengah kecepatan bebas.

Contoh 9

Dengan asumsi bahwa terdapat hubungan kecepatan-kepadatan yang linier, kecepatan bebas rata-rata yang diamati adalah 60 mil/jam ketika kepadatannya hampir nol, dan kepadatan macetnya adalah 140 kendaraan/mil. Jika diasumsikan bahwa panjang rata-rata kendaraan adalah 20 ft.

- Tentukanlah persamaan-persamaan: kecepatan-kepadatan dan arus-kepadatan.
- Gambarlah diagram-diagram: v - k , v - q , dan q - k , yang mengindikasikan nilai kritis (Gambar 5-E8).
- Hitunglah kecepatan dan kepadatan yang berhubungan dengan suatu arus sebesar 1.000 kendaraan/jam.
- Hitunglah rata-rata untuk headway, spacing, clearance, dan gap ketika arus mencapai nilai maksimum.

Jawaban

- Persamaan untuk hubungan linier dari v dan k adalah

$$v = mk + C$$

di mana m dan C adalah konstanta. Substitusi $k = 140$ ketika $v = 0$, dan $k = 0$ ketika $v = 60$, kita mendapatkan $v = 60 - 0,43k$:

$$q = vk = (60 - 0,43k)k = 60k - 0,43k^2$$

- Jika $q = 60k - 0,43k^2$, untuk memperoleh nilai q maksimum, diferensiasikan q terhadap k dan samakan dengan nol.

$$\frac{dq}{dk} = 60 - 0,86k = 0$$

Dengan demikian,

$$k = 70 \text{ kendaraan/mil}$$

dan

$$q_{\text{maks}} = (60 \times 70) - [0,43 \times (70)^2] = 2100 \text{ kendaraan/jam (lihat Gambar 5-E8)}$$

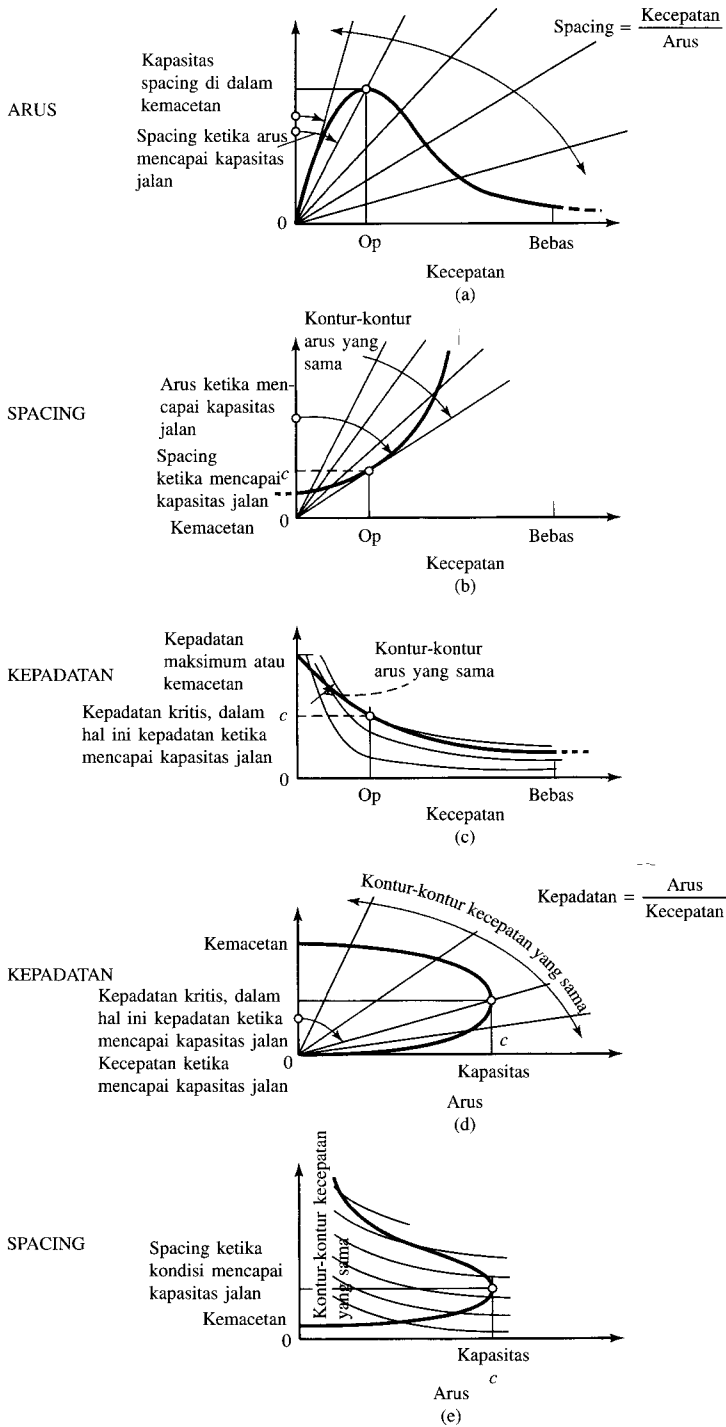
- Jika $q = 1000$ kendaraan/jam, $1000 = 60k - 0,43k^2$ maka, $k = 120$ kendaraan/mil atau 19 kendaraan/mil. Selain itu $v = 60 - 0,43k$, Jadi substitusi nilai k akan menghasilkan

$$v = 8,4 \text{ mil/jam atau } 51,8 \text{ mil/jam}$$

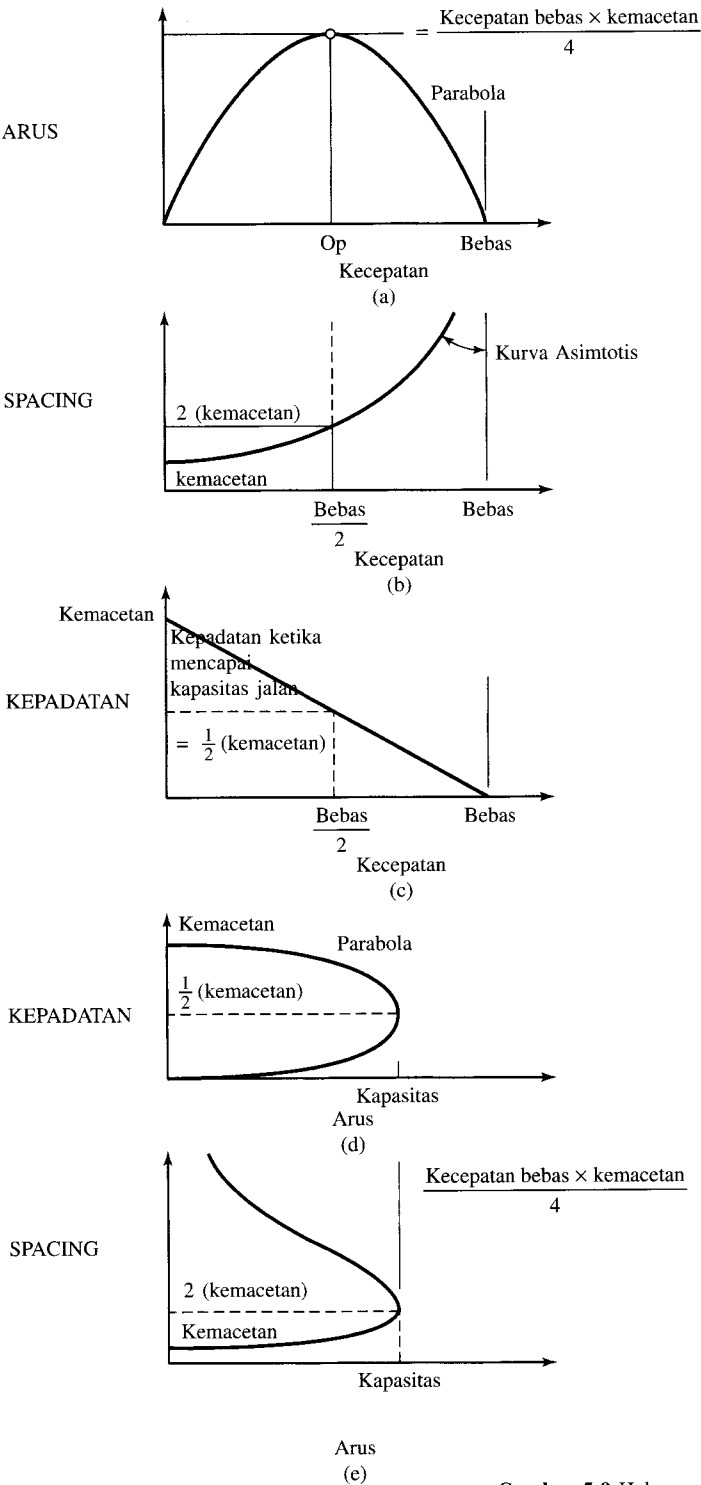
- $q = \frac{3600}{h}$; dengan demikian, $h = \frac{3600}{2100} = 1,714$ detik

$$h = \frac{s}{v}; \text{ dengan demikian, } s = 1,714 \times 30 \times \frac{5280}{3600} = 75,42 \text{ ft}$$

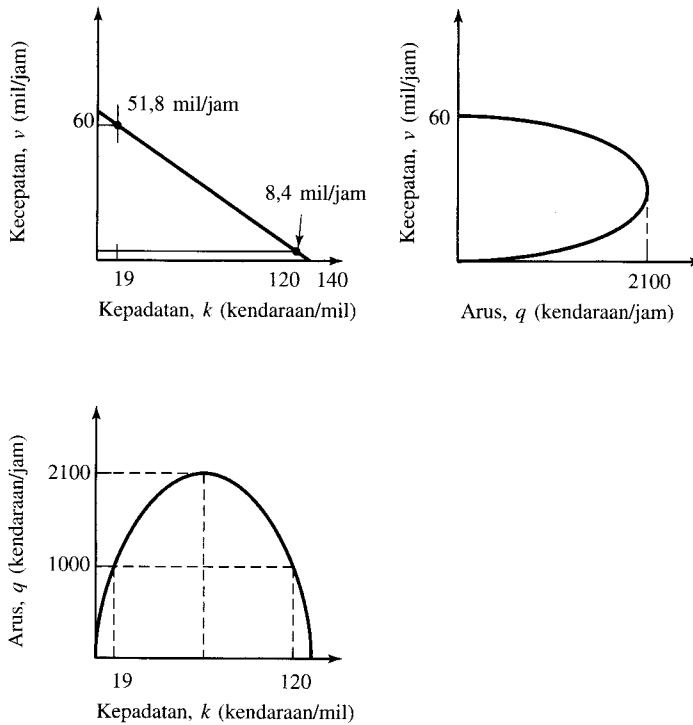
$$g = h - \frac{L}{v} = 1,714 - \frac{20 \times 3600}{30 \times 5280} = 1,26 \text{ detik}$$



Gambar 5-8 Hubungan Kecepatan-Arus-Spacing (Lay, 1986a).



Gambar 5-9 Hubungan Kecepatan-Arus-Spacing-Kepadatan Berdasarkan Kecepatan Bebas dan Kurva Kecepatan-Kepadatan Linier (Lay, 1986a).



Gambar 5-E8 Kurva q - k - v untuk Contoh 8.

$$c = gv = 1,26 \times 30 \times \frac{5280}{3600} = 55,44 \text{ ft}$$

Lihatlah kembali Gambar 5-2 untuk melihat kembali definisi dari clearance, gap, spacing, dan headway.

8.3 Metode Perhitungan Kendaraan-Bergerak

Mengestimasi kecepatan dan arus lalu-lintas dari sebuah kendaraan yang bergerak merupakan metode lapangan yang berguna. Metode ini terdiri dari pembuatan serangkaian uji coba atas sebuah kendaraan-uji, yaitu mencatat jumlah kendaraan yang melewati kendaraan-uji, jumlah kendaraan yang dilewati kendaraan uji, dan waktu tempuh kendaraan-uji.

Dalam hal ini perhitungan dilakukan atas 2 kasus. Pada kasus 1, kendaraan-uji diberhentikan dan arus q , jumlah kendaraan yang melalui kendaraan-uji, n_0 , dicatat.

$$q = \frac{n_0}{T}$$

di mana T adalah lama waktu (durasi) percobaan.

Pada kasus 2, seluruh kendaraan diberhentikan kecuali kendaraan-uji, dengan demikian jumlah kendaraan yang dilalui oleh kendaraan-uji adalah n_s .

$$k = \frac{n_s}{L}$$

di mana L adalah panjang daerah uji, dan k adalah kepadatan lalu-lintas. Sekarang $L = vT$, di mana v adalah kecepatan kendaraan-uji. Maka, $k = n_s/vT$, $n_0 = qT$, dan $n_s = kL = kvT$. Dengan

demikian, $n_0 - n_s = qt - kvT$. Jika $n = n_0 - n_s$, maka $n = qT - kvT$, atau

$$\frac{n}{T} = q - kv \quad (21)$$

Jika beberapa uji coba dilakukan atas kendaraan-uji ini, kita dapat menghitung seluruh nilai n , T , dan v untuk kemudian menghitung q dan k . Dalam prakteknya, pengujian ini dapat dilakukan dengan mengendarai kendaraan-uji searah dan berlawanan dengan arus lalu-lintas. Ketika kendaraan-uji berjalan searah dan berlawanan dengan arus lalu-lintas, masing-masing persamaan untuk kedua kondisi ini adalah:

$$\frac{n_w}{T_w} = q - kv_w \quad (22)$$

$$\frac{n_a}{T_a} = q + kv_a \quad (23)$$

Subskrip w adalah lambang “searah arus”, sedangkan huruf kecil a adalah lambang “melawan arus” (tanda positif menandakan bahwa kendaraan-uji bergerak pada arah yang berlawanan). Penyelesaian kedua persamaan di atas menghasilkan

$$q = \frac{n_w + n_a}{T_w + T_a} \quad (24)$$

Untuk memperoleh nilai rata-rata waktu tempuh T , dari arus lalu-lintas, substitusikan k dengan q/v dan v_w dengan L/T_w :

$$\frac{n_w}{T_w} = q - \frac{q}{v} \frac{L}{T_w} = q - \frac{qT}{T_w}$$

Maka,

$$T = T_w - \frac{n_w}{q} \quad (25)$$

di mana q akan diperoleh dari

$$q = \frac{n_w + n_a}{T_w + T_a}$$

Contoh 10

Seorang mahasiswa mengendarai sepeda dari kampus ke rumah melalui sebuah jalan satu-arah selama 50 menit, di mana 10 menit dia pergunkan untuk berbicara dengan seorang pengemudi yang kendaraannya berhenti. Ia menghitung ada 42 kendaraan yang melaluinya ketika ia mengendarai sepeda, dan 35 kendaraan yang melaluinya ketika ia berhenti. Berapakah waktu tempuh dan arus aliran kendaraan?

Jawaban

Dengan mengasumsikan bahwa kendaraan yang dihitung selama ia berhenti mencerminkan arus kendaraan

$$q = \frac{35}{10} = 3,5 \text{ kendaraan/menit} = 210 \text{ kendaraan/jam}$$

$$T = T_w - \frac{n_w}{q} = 50 \text{ menit} - \frac{42 \text{ kendaraan}}{3,5 \text{ kendaraan/menit}} = 50 - 12 \\ = 38 \text{ menit}$$

Contoh 11

Data berikut ini dibuat dalam sebuah studi tentang waktu tempuh kendaraan pada suatu ruas jalan raya sepanjang 2 mil dengan menggunakan teknik kendaraan-bergerak. Tentukan waktu tempuh dan arus dari tiap-tiap arah pada ruas jalan raya tersebut.

Arah	Waktu Tempuh	Jumlah Kendaraan		
		Kendaraan dari Arah yang Berlawanan	Kendaraan yang Mendahului Kendaraan Uji	Kendaraan yang Didahului oleh Kendaraan Uji
Ke Arah Utara (AU)	T_N	N_N	n_N	
1	3,20	75	3	1
2	2,80	80	2	2
3	3,25	85	0	1
4	3,01	70	2	1
Rata-rata	3,07	77,5	1,75	1,25
Ke Arah Selatan (AS)	T_S	N_S	n_S	
1	3,30	78	4	0
2	3,25	74	2	2
3	3,40	79	0	2
4	3,35	82	3	3
Rata-rata	3,33	78,25	2,25	1,75

Jawaban

$$\text{Arus AU} = q_{NB} = (N_S + n_N)/(T_S + T_N) \\ = [78,25 + (1,75 - 1,25)]/(3,33 + 3,07) = 12,30 \text{ kendaraan/menit}$$

$$\text{Arus AS} = q_{SB} = (N_N + n_S)/(T_N + T_S) \\ = [77,5 + (2,25 - 1,75)]/(3,07 + 3,33) = 12,19 \text{ kendaraan/menit}$$

$$\text{Waktu tempuh rata-rata ke arah utara, } \bar{T}_N = T_N - n_N/q_{NB} \\ = 3,07 - (1,75 - 1,25)/12,30 = 3,029 \text{ menit}$$

$$\text{Waktu tempuh rata-rata ke arah selatan, } \bar{T}_S = T_S - n_S/q_{SB} \\ = 3,33 - (2,25 - 1,75)/12,19 = 3,289 \text{ menit}$$

9. DIAGRAM-DIAGRAM TRAYEK

Hubungan antara kecepatan-arus-kepadatan yang telah dibahas pada bagian sebelumnya di dalam bab ini dilakukan dengan meninjau perilaku agregat (gabungan) dari kendaraan di dalam suatu arus lalu-lintas. Namun, apabila kita bermaksud untuk mempelajari perilaku kendaraan individual, maka dalam hal ini kita dapat menggunakan diagram trayek (*trajectory diagram*).

Sebuah contoh diagram trayek diperlihatkan pada Gambar 5-10. Tiap trayek mewakili pergerakan sebuah kendaraan tertentu dalam ruang dan waktu, dan kombinasi garis mengilustrasikan interaksi antar kendaraan. Kemiringan trayek-trayek tersebut adalah kecepatan kendaraan. Diagram-diagram semacam ini banyak digunakan dalam mempelajari bentuk-bentuk pengelompokan dan penyebaran kendaraan, dan pengkoordinasian lalu-lintas.

9.1 Gelombang Kejut dan “Leher Botol”

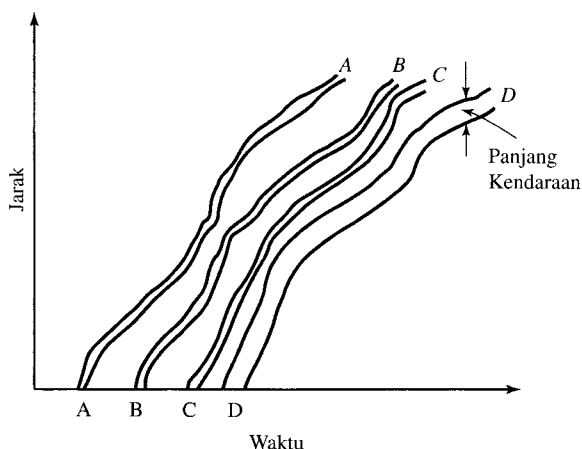
Bayangkanlah sebuah jalan raya dua-lajur di daerah luar kota dengan batas kecepatan 45 mil/jam dengan medan yang bergelombang naik-turun (*rolling terrain*) di mana kendaraan dilarang saling mendahului. Pada kondisi seperti ini, sudah tidak mengherankan lagi jika kita melihat sebuah truk yang merayap naik pada kecepatan 15 mil/jam diikuti oleh iring-iringan kendaraan di belakangnya. Kendaraan lain yang datang bergabung mungkin saja mempunyai kecepatan mendekat sebesar 45 mil/jam, tetapi bisa tiba-tiba harus mengurangi kecepatannya sampai 15 mil/jam. Peristiwa ini menciptakan satu fenomena yang disebut “gelombang kejut” (*shock wave*) — suatu kompresi tiba-tiba pada sekelompok kendaraan yang dapat menimbulkan tabrakan jika pengemudi kurang berhati-hati.

Kemudian, diumpamakan bahwa truk tadi, dengan sederetan pengemudi yang sudah tidak sabar di belakangnya, melewati puncak tanjakan dan kemudian bergerak turun dengan kecepatan 45 mil/jam. Di sini, sebuah kemungkinan gelombang kejut terjadi kembali, namun kali ini adalah dekomposisi.

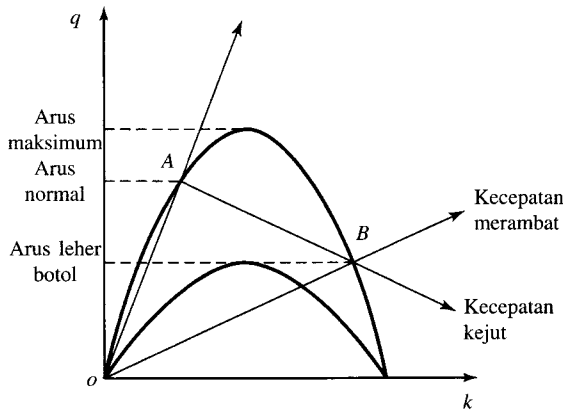
Gelombang kejut serupa juga mungkin terjadi ketika, sebagai contoh, jalan tol tiga-lajur menyempit menjadi jalan tol dua-lajur yang menciptakan situasi “leher botol” (*bottleneck*). Gelombang kejut yang sebaliknya bisa terjadi ketika kendaraan telah melewati leher botol, karena setelah lepas dari kondisi ini, kelompok kendaraan yang menumpuk ini bisa menyebar, menambah kecepatan, dan memperbesar headway di antara kendaraan-kendaraan tersebut.

Aliran kendaraan yang terhenti akibat rambu lalu-lintas juga mewakili situasi di mana kendaraan-kendaraan yang mendekati kelompok yang telah berhenti tiba-tiba mengalami kompresi (hampir macet), dan kemudian terbebas ketika lampu hijau menyala, yang mewakili dekomposisi.

Sebuah pembentukan leher botol umum diperlihatkan pada Gambar 5-11, di mana pada gambar ini hubungan kepadatan-arus normal dan kepadatan-arus leher botol digabungkan.



Gambar 5-10 Diagram Waktu-Ruang.



Gambar 5-11 Pengukuran Gelombang Kejut.

Sebuah kendaraan di jalan utama (arus q_A) dengan kecepatan v_A (direpresentasikan oleh vektor OA) mendekati bagian leher botol dari jalan utama tersebut. Kendaraan pada bagian ini memiliki kecepatan v_B (arus q_B), direpresentasikan oleh vektor OB . Peningkatan gelombang kejut (garis AB) di dalam kelompok kendaraan yang mengikuti mobil terdepan direpresentasikan oleh vektor AB , sehingga kendaraan yang mendekati leher botol dipaksa untuk mengurangi kecepatan hingga OB , yang disebut *kecepatan merambat* (*crawl speed*). Kecepatan ini melawan arus.

Ketika perubahan arus terjadi, perubahan-perubahan pada aliran kendaraan akan memiliki kecepatan, disebut *kecepatan gelombang* (*wave velocity*), yang dinyatakan dengan:

$$u_w = \frac{dq}{dk} \quad (26)$$

dan jika

$$\begin{aligned} q_B &= \text{arus kelompok kendaraan (kendaraan /jam)} \\ k_B &= \text{kepadatan kelompok kendaraan (kendaraan/mil)} \\ q_A &= \text{arus bebas} \end{aligned}$$

dan

$$k_A = \text{kepadatan bebas}$$

maka

$$q_B/k_B = v_B$$

dan

$$q_A/k_A = v_A$$

Dengan demikian,

$$u_w = \frac{q_B - q_A}{k_B - k_A} \quad (27)$$

di mana u_w adalah kecepatan gelombang kejut.

Jika tanda gelombang kejut positif, maka gelombang bergerak searah dengan arus aliran (searah-aliran); jika tandanya negatif, gelombang kejut bergerak melawan arus aliran (melawan-aliran). Gelombang kejut stasioner terjadi jika $u_w = 0$.

Contoh 12

Zona sekolah (20 mil/jam) sepanjang $\frac{1}{4}$ mil terletak di jalan raya dengan batas kecepatan 40 mil/jam. Pengukuran aliran pada bagian yang melawan-aliran, di tengah zona sekolah, dan tepat searah-aliran dari zona sekolah ini memperlihatkan data:

Zona melawan-aliran: $q_A = 1.000$ kendaraan/jam, $v_A = 40$ mil/jam.

Zona tengah: $q_B = 1.100$ kendaraan/jam, $v_B = 20$ mil/jam.

Zona searah-aliran: $q_C = 1.200$ kendaraan/jam, $v_C = 30$ mil/jam

Gambarkanlah kurva-kurva $q-k-v$ dan tandai nilai-nilai kritis. Hitunglah intensitas dan arah gelombang kejut yang diciptakan oleh zona kecepatan ini. Berapakah panjang kelompok kendaraan yang dihasilkan oleh zona kecepatan dan merupakan waktu yang dibutuhkan untuk menyebarkan iringan kendaraan? (Asumsikan bahwa peraturan zona kecepatan hanya berlaku 15 menit pada pagi hari dan 15 menit pada sore hari.)

Jawaban

Lihat Gambar 5-E12.

$q_A = 1.000$ kendaraan/jam	$v_A = 40$ mil/jam	$k_A = 25$ kendaraan/mil
$q_B = 1.100$ kendaraan/jam	$v_B = 20$ mil/jam	$k_B = 55$ kendaraan/mil
$q_C = 1.200$ kendaraan/jam	$v_C = 30$ mil/jam	$k_C = 40$ kendaraan/mil

Terlihat jelas bahwa terdapat sekelompok kendaraan yang melalui zona sekolah pada kecepatan 20 mil/jam. Dengan kata lain, bagian depan kelompok kendaraan ini bergerak maju pada kecepatan +20 mil/jam terhadap jalan raya. Dengan tanda yang sama, kecepatan gelombang kejut pada bagian belakang kelompok kendaraan adalah:

$$u_{AB} = \frac{1100 - 1000}{55 - 25} = + \frac{100}{30} = 3,33 \text{ mil/jam}$$

(bergerak searah dengan arus aliran).

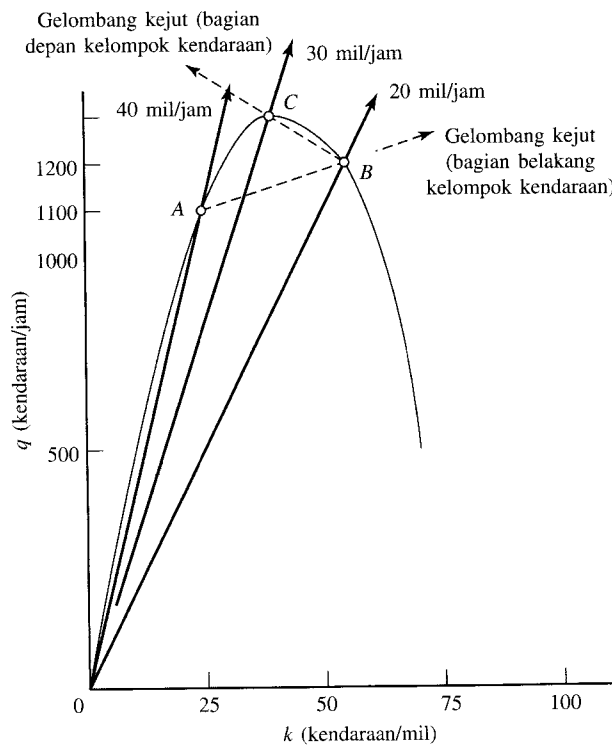
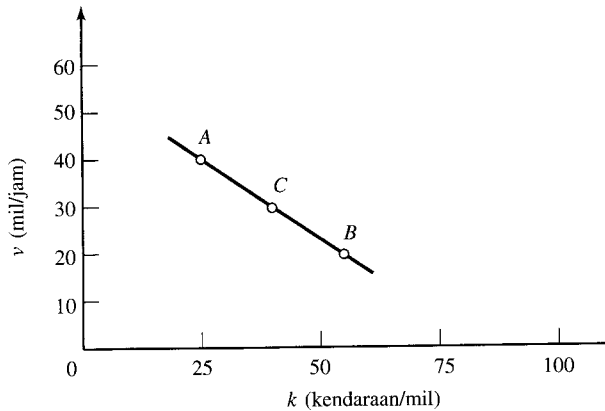
Dengan demikian, peningkatan relatif kelompok kendaraan berbanding lurus dengan kecepatan relatif di antara $20 - 3,33 = 16,67$ mil/jam. Kelompok tersebut bertambah panjang pada kecepatan 15,67 mil/jam ketika kendaraan bergerak maju. Jika zona sekolah berlaku hanya 15 menit setiap pagi, panjang kelompok adalah $= 16,67 \times \frac{15}{60} = 4,17$ mil dan jumlah kendaraan dalam kelompok ini adalah $4,17 \times 55 = 230$ kendaraan.

Gelombang kejut juga terjadi ketika zona sekolah berakhir dan zona dekompresi dimulai. Kecepatan gelombang kejut ini adalah:

$$u_{BC} = \frac{1200 - 1100}{40 - 55} = -6,67 \text{ mil/jam}$$

(bergerak berlawanan arah dengan arus aliran).

Perhatikanlah bahwa gelombang kejut pada bagian belakang kelompok bergerak searah-aliran pada +3,33 mil/jam. Sudah tentu kecepatan relatif kedua gelombang kejut ini adalah $-6,67 - (+3,33) = 10$ mil/jam. Artinya untuk menormalkan arus kendaraan dibutuhkan $4,17/10 = 0,417$ jam, atau 25 menit.



Gambar 5-E12 Kurva q - k - v untuk Contoh 12.

Contoh 13

Gambarlah sketsa waktu-jarak yang memperlihatkan bagian depan dan belakang kelompok kendaraan pada sebarang waktu mulai dari awal berlakunya zona kecepatan sampai waktu di mana kelompok telah menyebar seluruhnya, berdasarkan Contoh 12.

Jawaban

Gambar 5-E13 memperlihatkan bagian depan dan bagian belakang kelompok kendaraan. Jarak aljabar di antara dua bagian tersebut merepresentasikan panjang kelompok kendaraan. Perhatikan bahwa panjang maksimum adalah $5,00 - 0,83 = 4,17$ mil. Perhatikan

pula bahwa kelompok kendaraan ini akhirnya tersebar 40 menit (15 + 25) setelah pemberlakuan kecepatan 15 menit, dan 2,22 mil dari awal zona sekolah $\frac{1}{4}$ mil.

9.2 Peningkatan Jumlah Gelombang Kejut

Dengan menggunakan model arus lalu-lintas Greenshields, v_f mewakili kecepatan bebas rata-rata dan k_j adalah kepadatan macet.

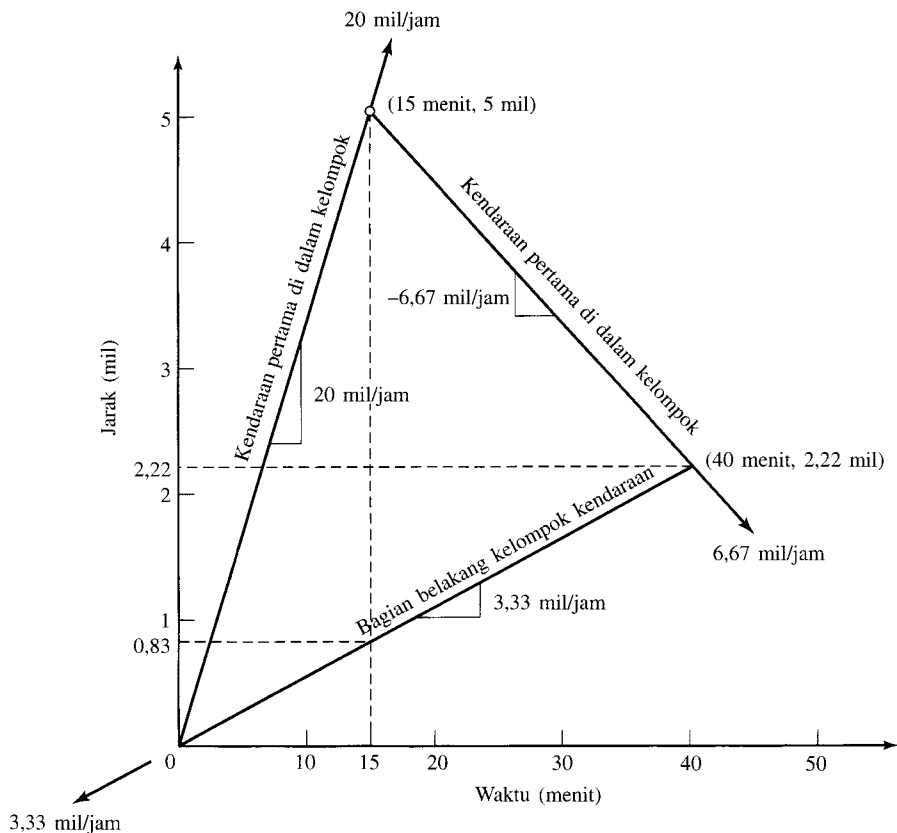
$$v_i = v_f \left(1 - \frac{k_i}{k_j} \right)$$

dan jika

$$\frac{k_i}{k_j} = x$$

maka,

$$v_i = v_f (1 - x)$$



Gambar 5-E13 Plot Waktu-Jarak untuk Contoh 13.

Jika ada dua daerah dalam arus lalu-lintas dengan nilai k_i/k_j sebesar x_1 dan x_2 , maka:

$$v_1 = v_f(1 - x_1) \quad \text{dan} \quad v_2 = v_f(1 - x_2)$$

dan

$$u_w = v_f [1 - (x_1 + x_2)]$$

di mana u_w adalah kecepatan gelombang kejut yang dinyatakan dalam kedua kepadatan untuk kedua daerah tersebut. Persamaan uji coba ini berguna untuk menguji gelombang kejut dalam tiga kondisi umum, yaitu diskontinuitas-diskontinuitas kecil dalam kepadatan, situasi berhenti, dan permulaan (Homburger, 1982).

9.2.1 Gelombang Kejut Akibat Kepadatan yang Hampir Sama Jika x_1 dan x_2 hampir sama, maka

$$u_w = v_f(1 - 2x_1)$$

Gelombang kejut ini disebut sebagai suatu gelombang diskontinuitas.

9.2.2 Gelombang Kejut Akibat Pemberhentian Di sini kepadatan melawan-aliran x_1 dibawa ke kondisi kepadatan macet dan $x_2 = 1$. Dengan demikian,

$$u_w = v_f [1 - (x_1 + 1)] = - (v_f) (x_1)$$

mengindikasikan bahwa gelombang kejut pemberhentian bergerak melawan-aliran dengan kecepatan $v_f x_1$. Maka, apabila suatu aliran kendaraan berhenti pada suatu rambu pada waktu $t = 0$, maka pada waktu t , panjang dari kelompok yang terdiri dari kendaraan-kendaraan yang berhenti ini adalah $(v_f) (x_1) (t)$.

9.2.3 Gelombang Kejut Akibat Permulaan Asumsikan bahwa pada waktu $t = 0$, suatu kelompok kendaraan telah terkumpul pada rambu berhenti di sebuah persimpangan, dan bahwa kepadatan macetnya adalah sedemikian rupa sehingga $x_1 = 1$. Ketika $t = 0$, lampu berubah jadi hijau sehingga kendaraan tersebar pada kecepatan v_2 . Karena

$$u_w = v_f [1 - (x_1 + x_2)], \text{ di mana } x_1 = 1$$

$$u_w = v_f [1 - (1 + x_2)] = v_f (-x_2) = - v_f x_2$$

Selain itu,

$$v_2 = v_f(1 - x_2) \quad \text{dan} \quad x_2 = 1 - \frac{v_2}{v_f}$$

Maka,

$$u_w = -v_f \left(1 - \frac{v_2}{v_f} \right) = -v_f + v_2 = - (v_f - v_2)$$

Dengan asumsi bahwa kendaraan-kendaraan melepaskan diri pada kecepatan $v_2 = v_f/2$, gelombang kejut permulaan bergerak mundur dengan kecepatan $u_f/2$.

Contoh 14

- Arus lalu-lintas jalan raya dua-lajur yang mengikuti model Greenshields mempunyai ciri-ciri sebagai berikut: kecepatan bebas rata-rata, $v_f = 50$ mil/jam, $k_j = 220$ kendaraan/

mil, berapakah kecepatan gelombang kejut diskontinuitasnya ketika $k_1 = 50$, $k_2 = 160$, $k_3 = 110$ kendaraan/mil?

- b. Kecelakaan lalu-lintas di jalan ini menghentikan seluruh lalu-lintas selama 5 menit, ketika kecepatan rata-rata ruang adalah 45 mil/jam dan kepadatan adalah 40 kendaraan mil. Hitunglah kecepatan gelombang-kejut dan panjang iring-iringan kendaraan yang berhenti.
- c. Dengan asumsi bahwa kendaraan mulai bergerak pada kecepatan 25 mil/jam setelah kecelakaan diatasi, hitunglah kecepatan gelombang permulaannya.

Jawaban

- a. $u_w = v_f (1 - 2x_1)$ di mana $x_1 = k_f/k_f$
 Ketika $k_1 = 50$, $x_1 = 50/220 = 0,227$, $u_w = (50)[1 - 2(0,227)]$
 $= 27,27$ mil/jam, searah-aliran
 Ketika $k_2 = 160$, $x_1 = 160/220 = 0,727$, $u_w = (50)[1 - 2(0,727)]$
 $= -22,73$ mil/jam, melawan-aliran
 Ketika $k_2 = 110$, $x_1 = 110/220 = 0,5$, $u_w = (50)[1 - 2(0,5)]$
 $= 0$
- b. Gelombang kejut yang diakibatkan oleh pemberhentian:
 $u_w = - (v_f) (x_1)$ di mana $x_1 = 40/220 = 0,1818$
 $= - (50) (0,1818) = -9,09$ (bergerak melawan-aliran)
 $t = 5/60 = 1/12$ Jam, dan panjang antrian $= (\frac{1}{12}) (9,09) = 0,7575$ mil
 Jumlah kendaraan di dalam antrian adalah $= (0,7575) (220) = 167$
- c. $u_w = - (v_f - v_2) = - (50 - 25) = -25$ mil/jam di arus atas.
 Gelombang permulaan ini akan mendahului gelombang berhenti pada kecepatan relatif $-25,0 - (-9,09) = -15,91$ mil/jam. Waktu untuk melampaui jalur sepanjang 0,7575 mil $= 0,7575/15,91 = 0,0476$ jam $= 2,86$ menit, dan titik di jalan tersebut adalah $0,0476 \times 25$ mil/jam $= 1,19$ mil melawan-aliran dari titik lokasi kecelakaan.

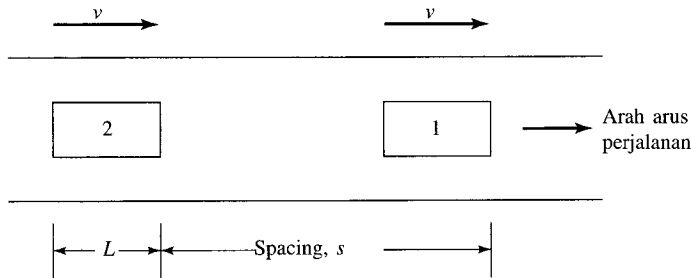
10. MODEL UMUM UNTUK ARUS ALIRAN KENDARAAN

Diumpamakan dua kendaraan yang berderet (atau kereta api), disebut *kendaraan depan* dan *kendaraan pengikut*, bergerak dengan kecepatan laju (*cruise speed*), v (kaki/detik) di sepanjang jalan raya yang panjang (Gambar 5-12). Dengan menggunakan persamaan dasar arus lalu-lintas, headway minimumnya dapat dinyatakan sebagai berikut:

$$\text{Headway minimum (detik)} = \frac{\text{spacing minimum (ft)}}{\text{kecepatan (ft/detik)}} \quad (28)$$

Spacing minimumnya terdiri dari empat komponen:

1. Jarak yang ditempuh selama waktu persepsi-reaksi yang dibutuhkan oleh pengemudi kendaraan-pengikut setelah lampu rem kendaraan depan menyala.
2. Selisih antara jarak pengereman dari kendaraan pengikut dan kendaraan depan.



Gambar 5-12 Arus Aliran Kendaraan.

3. Jarak antara kendaraan yang beriringan ketika berhenti.
4. Panjang kendaraan.

Dengan menyatakan komponen-komponen di atas secara aljabar, spacing minimum diketahui sebagai berikut:

$$s_{\min} = vt_r + \left(\frac{v^2}{2b_2} - \frac{v^2}{2b_1} \right) + s_0 + L \quad (29)$$

di mana

- v = kecepatan kendaraan (ft/detik)
- t_r = waktu persepsi-reaksi (detik)
- b_1, b_2 = perlambatan kendaraan depan dan perlambatan kendaraan pengikut, (ft/detik²)
- s_0 = jarak antara dua kendaraan ketika berhenti
- L = panjang kendaraan (ft)

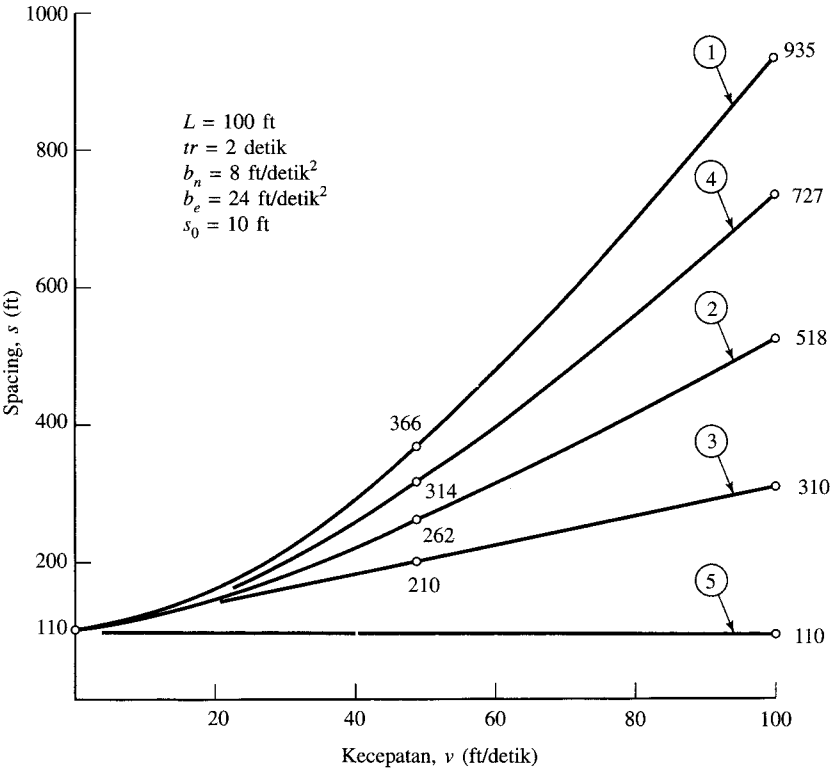
Pemilihan nilai khusus untuk keenam variabel di atas mempunyai implikasi penting terhadap tingkat keselamatan yang disediakan oleh operasi sistem. Sebagai contoh, meskipun tingkat pengereman maksimum adalah spesifik untuk setiap kendaraan, perancang kendaraan transit dapat memilih untuk memakai tingkat pengereman di bawah maksimum. Ketiga tingkat pengereman atau perlambatan ini akan diasumsikan sebagai berikut:

- b_n = tingkat pengereman normal, ditentukan oleh apa yang dirasakan nyaman oleh penumpang. Umumnya, nilai maksimumnya dibatasi oleh keselamatan dan kenyamanan yang berlaku bagi penumpang berdiri (8 ft/detik²)
- b_e = tingkat pengereman darurat, yang mungkin menyebabkan ketidaknyamanan bagi penumpang dan kemungkinan kecelakaan (sekitar 24 ft/detik²)
- b_s = tingkat pengereman tak terhingga (∞ ft/detik²), menghasilkan tabrakan atau kecelakaan tiba-tiba

Ada beberapa kebijakan keselamatan berkendara yang dapat ditetapkan untuk mengendalikan lalu-lintas, dengan berbagai macam kombinasi antara pengereman dan perlambatan baik untuk kendaraan depan maupun kendaraan pengikut. Sembilan kombinasi bentuk pengereman disajikan pada Tabel 5-2 (Vuchic, 1981). Mengenai penelitian, seluruh kebijakan yang mengasumsikan bahwa kendaraan pengikut dapat mengerem lebih cepat dari kendaraan depan dapat diabaikan, seperti terlihat pada kebijakan 6, 8, dan 9. Demikian pula, jika tingkat pengereman kendaraan depan dan kendaraan pengikut terjadi 'seketika' (kebijakan 3), kebijakan ini juga dapat diabaikan. Dengan demikian, hanya terdapat lima kebijakan yang dapat dianggap berlaku, yaitu kebijakan 1, 2, 4, 5, dan 7. Tabel 5-2 memperlihatkan keempat rezim (*regime*)

Tabel 5-2 Kombinasi Tingkat Pengereman

Kebijakan Keselamatan	Kendaraan Terdepan b_1	Kendaraan Pengikut b_1	Kasus
1	∞	b_n	1
2	∞	b_e	2
3	∞	∞	—
4	b_e	b_n	4
5	b_e	b_e	3
6	b_e	∞	—
7	b_n	b_n	3
8	b_n	b_e	—
9	b_n	∞	—



Gambar 5-13 Jarak versus Kecepatan.

untuk keempat kebijakan yang berlaku ini, dan juga untuk rezim 5, yaitu kereta api kontinu hipotesis, yang beroperasi pada kecepatan konstan tanpa perlu melakukan perlambatan. Kombinasi perlambatan kendaraan depan dan kendaraan pengikut yang menggambarkan rezim keselamatan diperlihatkan pada Gambar 5-13. Gambar ini memplot spacing versus kecepatan untuk keempat rezim di atas, ditambah satu sistem kereta api hipotetis (kurva 5). Perhatikanlah bahwa semakin tinggi tingkat keselamatan, semakin besar spacing yang diperlukan; namun, spacing yang lebih besar akan memperkecil kapasitas. Ini sudah tentu akan menimbulkan pertanyaan: Bagaimana mungkin kita mengkompromikan kapasitas dan keselamatan?

Hubungan antara spacing rata-rata dan kepadatan (atau konsentrasi) rata-rata dinyatakan dengan persamaan berikut:

$$S = \frac{5280}{k} \quad (30)$$

di mana s adalah spacing (ft), dan k adalah kepadatan (kendaraan/mil). Substitusi Persamaan (26) ke dalam Persamaan (25) menghasilkan

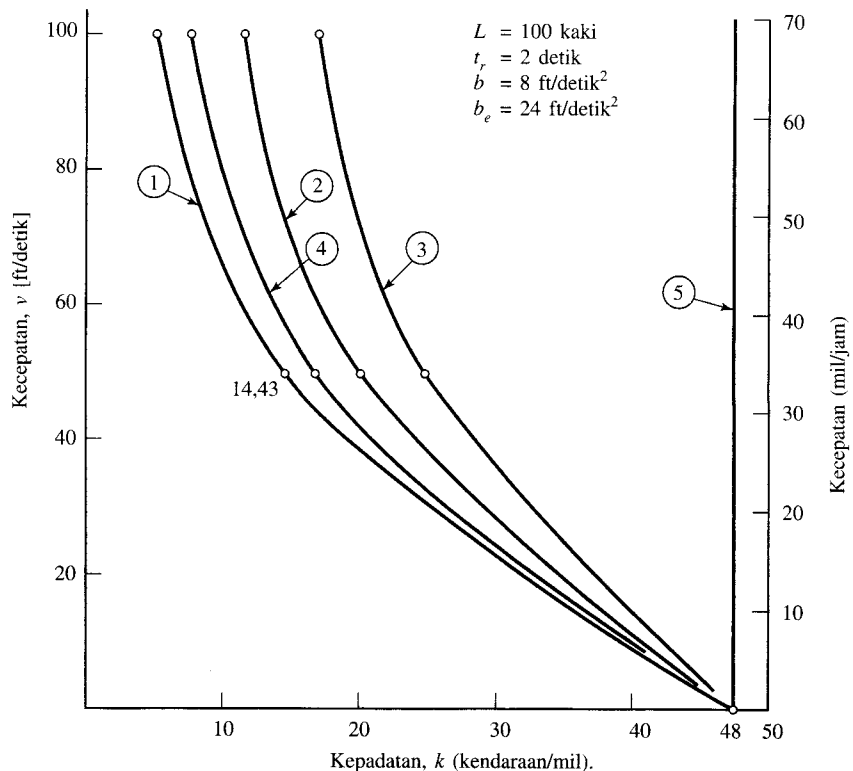
$$\frac{5280}{k} = vt_r + \left(\frac{v^2}{2b_2} - \frac{v^2}{2b_1} \right) + s_0 + L$$

Dengan demikian,

$$k = \frac{5280}{vt_r + (v^2/2b_2 - v^2/2b_1) + s_0 + L} \quad (31)$$

Persamaan ini diplot pada Gambar 5-14 dengan kepadatan (kendaraan/mil) pada sumbu absis dan kecepatan v pada sumbu ordinat untuk kelima rezim yang telah dibahas sebelumnya, termasuk kasus khusus yaitu kereta api hipotetis (kurva 5). Ketika kecepatan sangat tinggi dan kepadatan sangat rendah, kondisi ini disebut *arus bebas*.

Jika Persamaan (31) dikalikan dengan kecepatan rata-rata di kedua sisinya, persamaan ini menjadi



Gambar 5-14 Kecepatan versus Kepadatan.

$$q = \frac{v}{vt_r + (v^2/2b_2 - v^2/2b_1) + s_0 + L} \quad (32)$$

Sekali lagi, persamaan ini diplot dengan menggunakan karakteristik-karakteristik yang diperlihatkan pada Gambar 5-15 dan untuk kelima kasus di bawah ini.

Kasus 1 : $b_1 = \infty$, $b_2 = b_n$ (∞ = berhenti seketika).

Kasus 2 : $b_1 = \infty$, $b_2 = b_e$

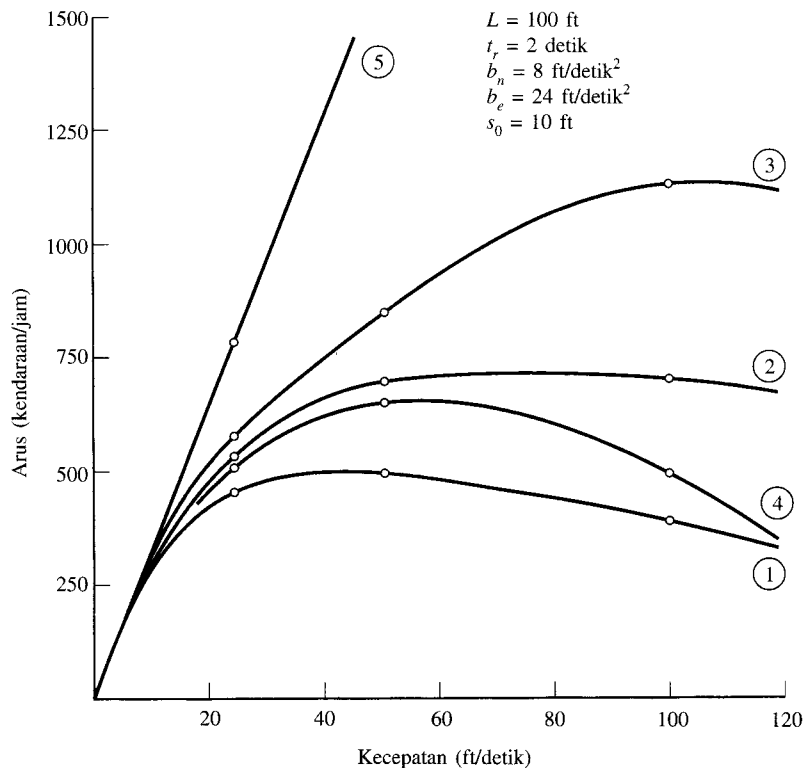
Kasus 3 : $b_1 = b_e$, $b_2 = b_2$ atau $b_1 = b_n$, $b_2 = b_n$

Kasus 4 : $b_1 = b_e$, $b_2 = b_n$

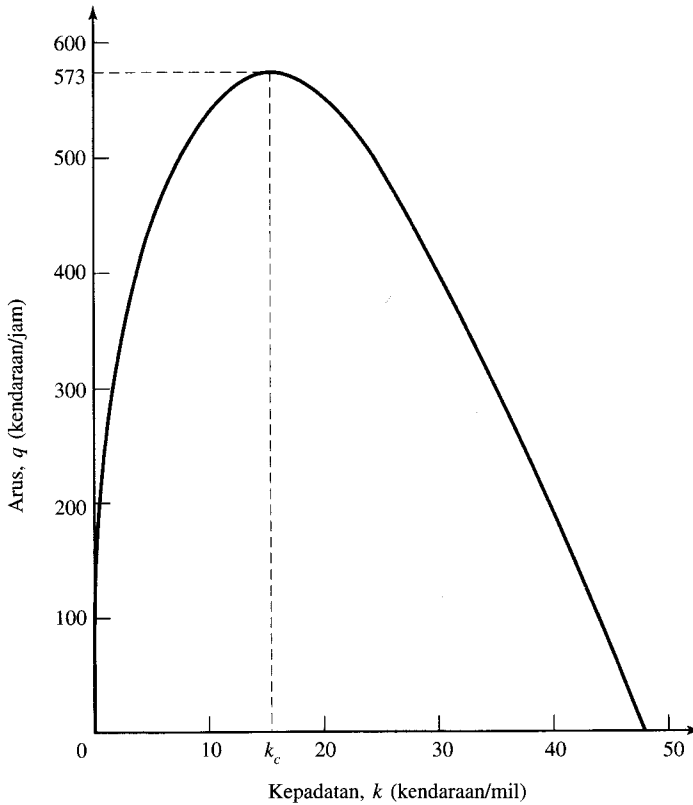
Kasus 5 : Kereta api hipotetis

Gambar 5-16 memperlihatkan hubungan (hanya untuk kasus 4 saja) antara arus dan kepadatan dengan menggunakan Persamaan (31).

Kelima rezim yang berlaku (direpresentasikan oleh kasus 1 sampai 5) akan dianalisis untuk menetapkan headway minimum (dalam detik), kapasitas jalan, dan kecepatan optimum untuk memperoleh kapasitas jalan maksimum. Sehingga, untuk setiap kondisi kebijakan, kapasitas jalannya akan dibedakan dengan berdasarkan pada kecepatan laju, dan ini dibuat sama dengan nol, yang menghasilkan kecepatan laju optimal dan kapasitas maksimum yang terkait (Vuchic, 1981).



Gambar 5-15 Arus versus Kecepatan.



Gambar 5-16 Arus versus Kepadatan (Rezim 4).

Rezim 1: $b_1 = \infty$ $b_2 = b_n$

$$S_{\min} = vt_r + \frac{v^2}{2b_n} - \frac{v^2}{\infty} + NL + s_0 \quad \text{di mana } N = \text{kendaraan per kereta api}$$

$$h_{\min} = \frac{NL + s_0}{v} + t_r + \frac{v}{2b_n} \quad \text{di mana } h_{\min} = \text{headway minimum (detik)}$$

$$C_w = \frac{3600NC_v}{(NL + s_0)/v + t_r + v/2b_n} \quad \text{di mana } C_v = \text{penumpang/kendaraan}$$

$$C_w = \frac{3600C_v}{h_{\min}}$$

$$v_{\text{opt}} = \sqrt{2(NL + s_0)b_n} \quad \text{di mana } C_w = \text{kapasitas jalan}$$

$$C_w(\text{maks}) = \frac{3600 NC_v}{[\sqrt{2(NL + s_0)/b_n}] + t_r}$$

Kebijakan ini mengasumsikan bahwa kendaraan pengikut dapat dihentikan pada tingkat pengereman normal meskipun kendaraan depan berhenti seketika. Dalam kasus ini keselamatan absolut terjamin. Meskipun demikian, kebijakan ini menghasilkan headway minimum yang lebih panjang dibandingkan dengan kebijakan-kebijakan lainnya, mengakibatkan biaya yang lebih mahal dilihat dari sisi investasi per penumpang per jam.

Rezim 2 : $b_1 = \infty$ $b_2 = b_e$

$$\begin{aligned}
 s_{\min} &= vt_r + \frac{v^2}{2b_e} - \frac{v^2}{\infty} + NL + s_0 \\
 h_{\min} &= \frac{NL + s_0}{v} + t_r + \frac{v}{2b_e} \\
 C_w &= \frac{3600 NC_v}{(NL + s_0)/v + t_r + v/2b_e} \\
 v_{\text{opt}} &= \sqrt{2(NL + s_0)b_e} \\
 C_w(\text{maks}) &= \frac{3600 NC_v}{[\sqrt{2(NL + s_0)/b_e}] + t_r}
 \end{aligned}$$

Rezim 2 agak kurang aman dibandingkan rezim 1, tetapi rezim ini mempunyai kapasitas yang lebih besar pada kecepatan laju berapapun. Rezim ini tidak sesuai untuk digunakan pada sistem-sistem yang terotomatisasi. Penumpang berdiri dalam sistem semacam ini bisa berada dalam keadaan bahaya.

Rezim 3: $b_1 = b_e$, $b_2 = b_e$ (atau $b_1 = b_n$, $b_2 = b_n$)

Rezim ini tidak dapat diterima karena baik kendaraan depan maupun kendaraan pengikut diasumsikan mempunyai tingkat pengereman yang sama. Dalam kasus ini:

$$\begin{aligned}
 s_{\min} &= vt_r + \frac{v^2}{2b_e} - \frac{v^2}{2b_e} + NL + s_0 \\
 &= vt_r + NL + s_0 \\
 h_{\min} &= \frac{NL + s_0}{v} + t_r \\
 C_w &= \frac{3600 NC_v}{(NL + s_0)/v + t_r}
 \end{aligned}$$

Rezim ini tidak memiliki kecepatan optimum dan C_w maksimum.

Rezim 4: $b_1 = b_e$ $b_2 = b_n$

$$\begin{aligned}
 s_{\min} &= vt_r + \frac{v^2}{2b_n} - \frac{v^2}{2b_e} + NL + s_0 \\
 h_{\min} &= \frac{NL + s_0}{v} + t_r + \frac{v(b_e - b_n)}{2b_n b_e} \\
 C_w &= \frac{3600 NC_v}{(NL + s_0)/v + t_r + v(b_e - b_n)/2b_n b_e} \\
 v_{\text{opt}} &= \sqrt{2(NL + s_0)b_e b_n / (b_e - b_n)} \\
 C_w(\text{maks}) &= \frac{3600 NC_v}{[\sqrt{2(NL + s_0)(b_e - b_n)/b_e b_n}] + t_r}
 \end{aligned}$$

Rezim ini memungkinkan tingkat pengereman yang nyaman pada kendaraan pengikut ketika kendaraan depan melakukan pengereman darurat. Biasanya, kapasitas dalam rezim ini selalu

lebih besar dibandingkan rezim 1 dan rezim 2, asalkan $b_e < 2 b_n$. Meskipun demikian tingkat keselamatannya lebih rendah daripada kedua rezim lainnya.

Rezim 5: $b_1 = b_2 = 0$

$$s = vt_r + \frac{v^2}{0} - \frac{v^2}{0} + NL + s_0$$

$$= vt_r + NL + s_0$$

Ini adalah kasus kereta api kontinu, sehingga tidak terdapat kapasitas jalan maksimum.

11. MODA-MODA YANG DIKENDALIKAN SECARA INDIVIDUAL VERSUS SECARA TERPUSAT

Bagian ini adalah bagian yang tepat untuk memahami beberapa perbedaan mendasar antara dua moda utama. Suatu moda transportasi merupakan suatu konfigurasi tertentu yang terdiri dari hak-prioritas-jalan (*right-of-way*), teknologi kendaraan, dan aturan operasi. Untuk memenuhi tujuan bab ini, seluruh moda transportasi dapat diklasifikasikan menjadi dua kategori.

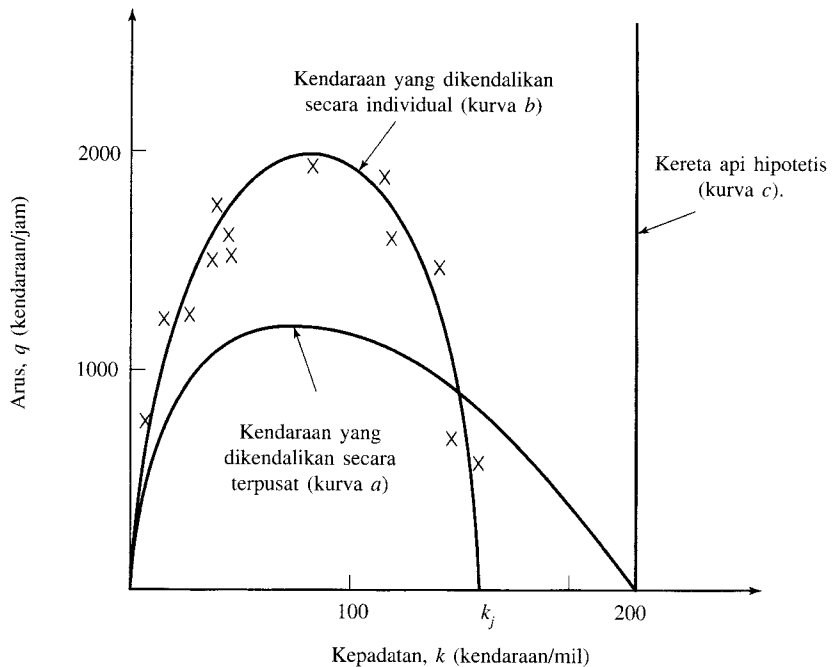
Kelompok pertama terdiri dari moda-moda di mana untuk moda-moda ini aturan-aturan mengenai pengendalian spacing longitudinal antar kendaraan, jadwal berhenti kendaraan, dan waktu pengoperasiannya bergantung pada keputusan perancang. Kelompok ini disebut *moda-moda yang dikendalikan secara terpusat*. Kebanyakan moda transportasi transit yang beroperasi pada hak-prioritas-jalan yang eksklusif atau hampir eksklusif dimasukkan ke dalam kelompok ini. Perlu dicatat bahwa kendaraan-kendaraan atau sekelompok kendaraan yang saling terhubung membentuk rangkaian kendaraan mungkin saja dioperasikan oleh seorang pengemudi, atau mungkin saja dioperasikan secara otomatis, tetapi headway (dan berbagai aspek operasi lainnya) antar kendaraan atau antar gerbong yang berurutan sudah ditentukan sebelumnya demi keamanan pengoperasian kendaraan tersebut.

Kelompok kedua terdiri dari moda-moda transportasi di mana untuk moda-moda ini pengemudi memutuskan sendiri mengenai headway, kecepatan, dan sebagainya, yang sudah tentu terikat dengan peraturan lalu-lintas. Kendaraan pribadi dan kendaraan umum transit yang beroperasi pada lalu-lintas campuran termasuk dalam kelompok ini. Moda-moda ini disebut *moda-moda yang dikendalikan secara individual*.

Sistem-sistem pengendalian terpusat (yang beroperasi pada suatu hak-prioritas-jalan yang eksklusif) umumnya melayani sejumlah stasiun di sepanjang suatu jalur dan perjalanannya merepresentasikan suatu pergerakan berhenti-dan-jalan yang diskrit, dengan perjalanan stasiun-ke-stasiun sebagai salah satu elemen dasar. Pergerakan kendaraan atau kereta adalah pergerakan yang cukup deterministik, khususnya ketika sistemnya otomatis. Di sisi lain, pergerakan kendaraan yang dikendalikan secara individual, seperti mobil, bis, dan sebagainya, sangat bervariasi akibat faktor-faktor eksternal, seperti kendaraan lain dalam aliran lalu-lintas, pejalan kaki yang menyeberang jalan, dan rambu-rambu. Biasanya, waktu tempuh untuk kelompok ini relatif tidak tertentu, di mana kecepatan dan headway rata-ratanya sangat bergantung pada kondisi lokasi pada saat itu.

Sebagai contoh, Gambar 5-17 memperlihatkan plot-plot hubungan arus-kepadatan pada kendaraan-kendaraan sepanjang 20 ft yang berjalan pada tiga kondisi yang berbeda.

Kurva *a* menggambarkan kendaraan ini berjalan pada suatu hak-prioritas-jalan eksklusif, yang dikendalikan secara otomatis, di mana batas keselamatan, setelah berhenti (s_0) = 3 ft, tingkat pengereman normal dan daruratnya (b_n dan b_e) masing-masing adalah 8 dan 24 ft/



Gambar 5-17 Arus yang Dikendalikan secara Individual versus secara Terpusat.

detik², dan waktu persepsi-reaksi kendaraan pengikut adalah 1 detik. Di sini arus maksimumnya sekitar 1.200 kendaraan/jam dan kepadatan macetnya sekitar 230 kendaraan/mil. Hubungan arus-kepadatannya direpresentasikan oleh Persamaan (32). Ini adalah kurva tipikal untuk sistem yang dikendalikan secara terpusat.

Kurva b menggambarkan iring-iringan kendaraan (panjang masing-masing 20 feet) yang berjalan di salah satu lajur jalan tol dengan kecepatan dan headway mereka masing-masing. Tiap pengemudi mengoperasikan kendaraannya masing-masing. Ini adalah contoh kasus dari sistem yang dikendalikan secara individual. Data yang diperoleh dari observasi memperlihatkan bahwa nilai rata-rata kecepatan bebas adalah sekitar 50 mil/jam dan kepadatan macetnya sekitar 160 kendaraan/mil. Dengan mencocokkan data-data ini, kita dapat melihat bahwa grafik ini sesuai dengan Persamaan Greenshields.

Pada grafik ini juga digambar kurva c , yang menunjukkan suatu rantai dari kendaraan-kendaraan sepanjang 20 kaki, di mana seluruh kendaraan tersebut saling terhubung secara mekanis, yang beroperasi di suatu hak-prioritas-jalan yang eksklusif. Rantai kendaraan ini, yang membentuk rangkaian, dapat diumpamakan seperti kendaraan pada kepadatan macet, bergerak bersama-sama pada kecepatan berapapun yang dikehendaki, karena permasalahan yang berhubungan dengan headway minimum (atau jarak pengereman yang aman) di antara dua kendaraan yang berurutan dapat diabaikan.

Dengan menempatkannya bersama ke dalam satu grafik, ketiga kurva a , b , dan c merepresentasikan tiga sistem yang berbeda.

Sistem a (kendaraan yang dikendalikan secara terpusat):

$$L = 20 \text{ ft/kendaraan}$$

$$s_0 = 3 \text{ ft}$$

$$\begin{aligned}t_r &= 1 \text{ detik} \\b_n &= 8 \text{ ft/detik}^2 \\b_e &= 24 \text{ ft/detik}^2\end{aligned}$$

di mana

$$q = \frac{v}{vt_r + (v^2/2b_n - v^2/2b_e) + s_0 + L} \quad (33)$$

Sistem b (Kendaraan yang dikendalikan secara individual):

$$\begin{aligned}L &= 20 \text{ ft/kendaraan} \\v_t &= 50 \text{ mil/jam} \\k_j &= 160 \text{ kendaraan/mil}\end{aligned}$$

di mana,

$$q = kv$$

Sistem c (Kereta hipotetis):

L = Kereta kontinu (termasuk mobil-mobil yang digandengkan secara mekanis)
 v = Kecepatan (berapapun yang dapat didukung oleh sistem)

Arus q bergantung pada kecepatan dan kapasitas kereta.

RANGKUMAN

Di dalam Bab ini kita telah mempelajari sifat-sifat arus lalu-lintas. Karena kompleksitas dalam memahami interaksi di antara berbagai kendaraan, maka beberapa asumsi dibuat untuk membangun suatu hubungan umum antara spacing dan kecepatan yang aman.

Beberapa parameter yang berhubungan dengan arus lalu-lintas telah didefinisikan dan diaplikasikan untuk masalah sehari-hari. Parameter pengukuran utama adalah kecepatan (v), arus (q) dan kepadatan (k). parameter pengukuran lainnya juga telah diuraikan, yaitu spacing (s), headway, (h) lane occupancy (LO), clearance (c), dan gap (g). Dua kategori arus lalu-lintas, yaitu arus tak-terhenti dan arus terhenti juga telah dibahas. Kasus arus tak-terhenti pada lalu-lintas jalan raya telah diuraikan secara terperinci, diikuti dengan sebuah model umum mengenai arus aliran kendaraan dalam berbagai kerangka kebijakan keselamatan. Terakhir, suatu perbandingan antara moda yang dikontrol secara terpusat dan moda yang dikontrol secara individual telah dilakukan, yang memperlihatkan perbedaan di antara kedua kategori moda utama ini.

DAFTAR PUSTAKA

- DREW, D. R. (1968). *Traffic Flow Theory and Control*, McGraw-Hill, New York.
- GERLOUGH, D. L., and M. J. HUBER (1975). *Traffic Flow Theory: A Monograph*, Special Report 165, Transportation Research Board-National Research Council, Washington, DC.
- GREENBERG, H. (1959). An Analysis of Traffic Flow, *Operations Research*, vol. 7, July, pp. 79–85.
- GREENSHIELDS, B. D. (1935). *A Study of Traffic Capacity*, Highway Research Board-National Research Council, Washington, DC., pp. 448–477.
- HOMBURGER, W. S. (Ed.) (1982). *Transportation and Traffic Engineering Handbook*, 2nd ed., Prentice Hall, Englewood Cliffs, NJ.
- LAY, M. G. (1986a). *Handbook of Road Technology*, Vol. 2, *Traffic and Transport*, Gordon and Breach, New York.
- LAY, M. G. (1986b). *Update for Source Book for Australian Roads*, Australian Road Research Board, Canberra, ch. 17.
- MITRIC, S. (1975). *Transportation Engineering Notes* (mimeograph). Ohio State University, Columbus, Ohio.
- TRANSPORTATION RESEARCH BOARD (TRB) (2000). *Highway Capacity Manual*, National Research Council, Washington, DC.
- VUCHIC, V. (1981). *Urban Public Transportation*, Prentice Hall, Englewood Cliffs, NJ.

SOAL-SOAL LATIHAN

1. Seorang mahasiswa mencatat jumlah kendaraan yang melalui sebuah lajur jalan tol, seperti tertera pada daftar berikut ini.

8:35–8:40	104	9:05–9:10	101
8:40–8:45	109	9:10–9:15	105
8:45–8:50	116	9:15–9:20	130
8:50–8:55	122	9:20–9:25	103
8:55–9:00	130	9:25–9:30	107
9:00–9:05	121	9:30–9:35	105

Hitunglah (a) arus tiap jam, (b) tingkat arus tersibuk untuk setiap periode 5 menit, dan (c) tingkat arus tersibuk untuk periode 15 menit pada lajur ini.

2. Seorang pilot helikopter mencatat waktu tempuh lima kendaraan di sebuah ruas jalan raya sepanjang dua mil. Estimasilah kecepatan rata-rata-waktu dan kecepatan rata-rata-ruang dari kendaraan-kendaraan tersebut.

Kendaraan	Waktu Tempuh (detik)
1	161
2	173
3	145
4	159
5	182

3. Sekelompok kendaraan diamati pada suatu jarak sepanjang 1.000 ft di salah satu lajur tunggal dari *Oak Street*, masuk pada titik *A* dan keluar pada titik *B*.

Kendaraan	Waktu di A (detik)	Waktu di B (detik)
1	0	35
2	2	37
3	3	39
4	5	42
5	6	44
6	8	48

- (a) Plotlah trayek dari keenam kendaraan ini pada kertas grafik dan (b) hitunglah volume, kepadatan, dan kecepatan rata-rata dari keenam kendaraan tersebut dengan mengasumsikan 10 detik pertama pada titik *A* sebagai periode pengamatannya.
4. Dua foto udara diambil, dengan selang waktu 30 detik, terhadap salah satu lajur arah-timur dari jalan tol I-90 di dekat Spokane, Washington. Hasilnya tercatat sebagai berikut:

Kendaraan	Posisi	
	Foto 1	Foto 2
1	2000	2940
2	2100	3000
3	1900	2600
4	1500	2400
5	500	1630
6	0	1000

Plotlah trayek tersebut pada kertas grafik dan hitunglah arus, kepadatan, dan kecepatan rata-rata pada lajur tersebut sepanjang 3.000 ft.

5. Empat kendaraan melalui suatu ruas jalan tol sepanjang 2 mil dan hasil pengamatan kecepatan diperoleh sebagai berikut: kendaraan 1 = 56 mil/jam, kendaraan 2 = 48 mil/jam, kendaraan 3 = 45 mil/jam, dan kendaraan 4 = 62 mil/jam. Berapakah kecepatan waktu rata-rata keempat kendaraan tersebut. Jika varians dari kecepatan-kecepatan adalah 48, berapakah kecepatan rata-rata ruang dari keempat kendaraan tersebut?
6. Kecepatan berikut adalah kecepatan mobil dan truk yang dicatat pada lajur median dari jalan tol I-90 di Spokane antara jam 8:00-9:00. Panjang bagian ini adalah 1 mil. Kecepatan kendaraan adalah 55, 54, 51, 55, 53, 53, 54, dan 52 mil/jam.
- Hitunglah kecepatan rata-rata waktu dan varians kecepatan.
 - Hitunglah kecepatan rata-rata ruang dan varians kecepatan.
7. Sebuah mobil dikendarai dari kota *A* ke kota *B* pulang-pergi. Perjalanan perginjanya menanjak dan mobil menghabiskan bahan bakar 20 mil/galon. Pada perjalanan pulang yang menurun, konsumsi bahan bakar 30 mil/galon.
- Berapakah nilai rata-rata (mean) harmonis dari konsumsi bahan bakar mobil dalam mil/galon?
 - Jika jarak kota *A* dan *B* adalah 50 mil, buktikan bahwa nilai rata-rata harmonis adalah nilai rata-rata yang sebenarnya, bukan nilai rata-rata aritmetik. (Perlu dicatat bahwa nilai rata-rata harmonis berhubungan dengan kecepatan rata-rata ruang, sementara nilai rata-rata aritmetik berhubungan dengan kecepatan rata-rata waktu).
8. Sebuah detektor loop dengan panjang 12 ft telah mengamati adanya enam kendaraan yang telah melintasi alat ini dalam periode waktu 148 detik, untuk durasi-durasi berikut ini: 0,44; 0,48; 0,5; 0,41; 0,49; dan 0,55. Hitunglah nilai q , k , dan v . Keenam kendaraan memiliki panjang masing-masing 18, 21, 20, 23, 17, dan 19 ft.
9. Dengan mengasumsikan bahwa hubungan kecepatan-kepadatan adalah linier, kecepatan bebas rata-rata pada sebuah lajur jalan raya adalah 55 mil/jam pada saat kepadatannya mendekati kepadatan 0, dan kepadatan macetnya adalah sekitar 170 kendaraan/mil.
- Plotlah kurva q , k , v dengan urutan yang benar.
 - Tentukan persamaan-kepadatan dan persamaan arus-kepadatan.
 - Buatlah uraian tentang arus maksimum.
 - Hitunglah kecepatan dan kepadatan yang berkorespondensi dengan arus sebesar 900 kendaraan/jam, dengan menjelaskan kondisi lalu-lintas dari sudut pandang pengemudi.
 - Hitunglah rata-rata untuk *headway*, *gap*, *clearance*, dan *spacing* pada saat arus maksimum dan pada saat kepadatan macet. Jelaskan hasil-hasil yang Anda peroleh. Apakah hasil-hasil tersebut realistis?

10. a. Seorang pengamat amatir mencatat bahwa arus lalu-lintas pada suatu lajur jalan tol memperlihatkan headway-headway kendaraan rata-rata sebesar 2,5 detik pada kecepatan rata-rata 55 mil/jam. Tentukan kepadatan, tingkat arus, spacing, dan gap dari aliran lalu-lintas di lajur ini dengan asumsi bahwa panjang rata-rata kendaraan adalah 20 ft.
- b. Dalam periode yang sama seorang mahasiswa teknik lalu-lintas melakukan pengamatan yang relatif akurat sebagai berikut: ia mencatat bahwa 55% kendaraan adalah kendaraan penumpang dengan panjang 19 ft, 40% adalah semi-trailer dengan panjang 54 ft, dan 5% bis dengan panjang 60 ft. Bagaimana informasi tambahan ini mempengaruhi jawaban Anda?
11. Seorang insinyur memiliki data-data berikut tentang suatu ruas jalan raya.

v (mil/jam)	60	52	41	34	22
k (kendaraan/mil)	11	43	62	80	103

- a. Dengan menerapkan asumsi Greenshields, tentukan kecepatan bebas rata-rata dan kepadatan macet rata-ratanya.
- b. Berapakah arus maksimum dan kepadatannya?
- c. Berapakah headway rata-rata dan spacing ketika $k = 50$ kendaraan/mil?
- d. Bandingkan hasil yang Anda peroleh pada pertanyaan (a), (b), (c) dengan hasil yang menggunakan asumsi Greenberg.
12. Dengan mengasumsikan bahwa $v_2 = C \ln(k_f/k)$, dan diketahui bahwa $k_f = 100$ kendaraan/mil dan juga bahwa $k = 35$ kendaraan/mil ketika $v = 40$ mil/jam, tentukan arus maksimum. Plotlah kurva $q-k-v$ dan tunjukkan nilai-nilai kritis.
13. Suatu jalan raya memiliki karakteristik arus sebagai berikut:

$$q = 263v - 65 v \ln v$$

Hitunglah $q_{\max}$, $v_{\max}$, dan $k_{\max}$. Plot kurva-kurva $q-k-v$.

14. Peraturan AAA menyatakan bahwa latihan mengemudi yang aman memerlukan clearance sebesar panjang sebuah mobil untuk setiap kecepatan 10 mil/jam. Dengan mengasumsikan bahwa (a) rata-rata panjang mobil adalah 18 ft, (b) Kurva $q-k-v$ mengikuti Greenshields, (c), kecepatan bebas rata-rata adalah 50 mil/jam, dan (d) kepadatan macetnya adalah 150 kendaraan/mil, buktikan hipotesis yang menyatakan bahwa kepadatan-kepadatan pada suatu aliran kendaraan yang kontinu dapat dijelaskan dengan peraturan AAA.
15. Studi waktu-tempuh pada sebuah jalan pusat kota yang sibuk dilakukan dengan menggunakan metode kendaraan bergerak. Estimasilah waktu tempuh dan volume pada bagian jalan ini. Data untuk studi ini adalah sebagai berikut:

Percobaan	Arah	Waktu Tempuh (menit)	Jumlah Kendaraan		
			Bergerak dari Arah yang Berlawanan	Bergerak Mendahului Ken- daraan Uji Coba	Didahului oleh Kendaraan Uji Coba
1	AU (Arah Utara)	15,80	320	7	2
2	AU (Arah Utara)	16,20	332	10	3
3	AU (Arah Utara)	15,40	340	11	3
4	AS (Arah Selatan)	15,93	305	12	4
5	AS (Arah Selatan)	16,35	328	15	5
6	AS (Arah Selatan)	16,33	345	5	0

Percobaan 1, 2, dan 3 adalah ke arah Utara, sedangkan percobaan 3, 5, 6 ke Selatan.

16. Sekelompok kendaraan dan truk yang melintas di sebuah jalan raya dua-lajur memiliki karakteristik sebagai berikut: $q = 1.250$ kendaraan/jam dan $k = 100$ kendaraan/mil. Truk terdepan pada kelompok ini mengalami mati mesin dan berhenti pada jam 10:44, tetapi untungnya pengemudi dapat menyalakan

mesinnya kembali dan bergerak kembali pada jam 10:47, melepaskan kondisi statis dari kelompok ini pada $q = 1.800$ kendaraan/jam dengan kecepatan 20 mil/jam. Jika $k_j = 235$ kendaraan/mil, hitunglah gelombang kejut pada bagian depan dan belakang kelompok kendaraan ini, dan sketsalah nilai-nilai ini ke dalam sebuah diagram jarak-waktu.

17. Suatu jalan raya dua-lajur yang sangat sibuk mempunyai bagian sepanjang 2 mil dengan kemiringan yang curam. Jalan raya ini mempunyai batas kecepatan 55 mil/jam. Banyak kritik yang dilontarkan oleh pengguna jalan bahwa truk yang sedang menanjak mengakibatkan terhambatnya kendaraan selama jam-jam sibuk di pagi hari. Sebagai contoh, seorang pengamat pada hari Senin pagi mencatat sebagai berikut: Kecepatan rata-rata ruang kendaraan adalah 48 mil/jam dengan kepadatan 30 kendaraan/mil. Pada jam. 7:23, sebuah truk yang berjalan di depan kelompok kendaraan yang menanjak melambat hingga kecepatan 20 mil/jam untuk jarak sejauh 2 mil (7:29), ketika truk ini akhirnya keluar dari jalan raya. Seluruh kendaraan di belakang truk ini, karena tidak mempunyai peluang untuk menyusul, membentuk iring-iringan yang semakin panjang selama periode ini, dengan kepadatan 90 kendaraan/mil. Tentukan panjang kelompok kendaraan. Jika penundaan semacam ini terjadi tiap hari, apakah tindakan yang harus diambil untuk mengatasinya?
18. Lalu-lintas pada suatu jalan raya dua-lajur sedang bergerak dengan arus 1.650 kendaraan/jam pada kecepatan 35 mil/jam dan kepadatan 50 kendaraan/mil, ketika sebuah truk yang kelebihan muatan masuk ke jalan dan melintas sepanjang 2 mil sebelum keluar kembali dari jalan raya ini. Suatu iring-iringan kendaraan terbentuk di belakang truk ini dengan tingkat arus 1.200 kendaraan/jam dan kepadatan 180 kendaraan/mil. Iring-iringan ini semakin panjang dengan semakin banyaknya kendaraan yang bergabung. Hitunglah kecepatan gelombang kejut, dan gambarkan hasil-hasil pengukuran gelombang kejut ini dalam kurva arus-kepadatan. Tentukan pula waktu yang dihabiskan oleh truk di jalan raya, waktu yang ditentukan untuk melepaskan kelompok dari kepadatan, dan waktu yang diperlukan arus lalu-lintas untuk kembali normal. Diasumsikan $k_j = 210$ kendaraan/mil, dan nilai kecepatan bebas rata-rata $v_f = 50$ mil/jam. Diasumsikan bahwa setelah truk meninggalkan jalan raya, aliran lalu-lintas mempunyai kecepatan 25 mil/jam dan kepadatan 105 kendaraan/mil.
19. Suatu jalan arteri empat-lajur (dengan dua-lajur pada tiap-tiap arah) mempunyai kapasitas 1.000 kendaraan/jam/lajur. Akibat adanya pekerjaan perbaikan jalan, kapasitas maksimum dua-lajur yang mengarah ke Utara berkurang menjadi 1.100 kendaraan/jam dari 2.000 kendaraan/jam untuk sebuah jarak pendek sepanjang 200 ft. Jika lalu-lintas total melawan-arus pada ruas yang diperbaiki (lajur ke arah Utara) relatif stabil sebesar 1.500 kendaraan/jam, tentukan (a) nilai rata-rata kecepatan lalu-lintas pada ruas jalan yang diperbaiki dan (b) Tingkat di mana antrian kendaraan yang mendekati ruas jalan yang diperbaiki bertambah besar. Diasumsikan kepadatan macetnya adalah 200 kendaraan/mil/lajur.
20. Suatu jalan searah yang terdiri dari dua-lajur mempunyai kecepatan bebas rata-rata 40 mil/jam dan kepadatan macet 130 kendaraan/jam/lajur. Arus gabungan dari jalan dua-lajur ini adalah 1.800 kendaraan/jam. Jika salah satu lajur ditutup sementara untuk perbaikan untuk salah satu bagiannya yang pendek, tentukan:
 - a. Berapakah kecepatan rata-rata lalu-lintas pada leher botol ini akibat penutupan satu lajur?
 - b. Berapakah kecepatan lalu-lintas rata-rata begitu mencapai leher botol?
 - c. Berapakah kecepatan lalu-lintas rata-rata melawan-arus dari leher botol ini (dan tidak dipengaruhi leher botol)?
 - d. Pada tingkat berapakah antrian kendaraan akan meningkat ketika memasuki leher botol?
21. Suatu aliran lalu-lintas dengan kecepatan rata-rata-ruang 30 mil/jam pada sebuah lajur dari sebuah jalan raya dua-lajur terhenti ketika mendekati sebuah persimpangan dengan-lampu selama 30 detik. Kapasitas lajur ini adalah 1.800 kendaraan/jam dan kepadatan macetnya adalah 180 kendaraan/mil.
 - a. Tentukan kecepatan dari gelombang berhenti jika lampu merah menyala selama 30 detik.
 - b. Pada jarak melawan-arus berapakah kendaraan akan dipengaruhi oleh lampu merah yang menyala?
22. Kendaraan-kendaraan rel-ringan tunggal dengan panjang 20 ft melaju di atas sebuah jalan eksklusif,

- mempunyai karakteristik sebagai berikut: $L = 20$ ft/gerbong, $N = 1$ gerbong/kereta api, $s_0 = 3$ ft, $t_r = 1$ detik, $b_n = 8$ ft/detik², $b_e = 24$ ft/detik². Hitunglah kecepatan optimal dan kapasitas untuk rezim 1, 2, dan 4.
23. Dalam suatu moda yang dikendalikan secara terpusat, $L = 25$ ft, $s_0 = 5$ ft, $t_r = 1,5$ detik, $b_n = 10$ ft/detik², $b_e = 20$ ft/detik². Gambarkanlah, dengan skala, sketsa-sketsa berikut ini, dengan menggunakan kelima rezim yang telah dipelajari: (1) jarak versus kecepatan, (2) kecepatan versus kepadatan, (3) arus versus kecepatan, dan (4) arus versus kepadatan.
24. Sebuah jalan tol kota terletak sejajar dengan jalan kereta api. Pada jalan kereta api tersebut melintas kereta api yang memiliki karakteristik sebagai berikut: $L = 18$ ft/gerbong, $s_0 = 3$ ft, $t_r = 2$ detik, $b_n = 10$ ft/detik², dan $b_e = 20$ ft/detik². Di atas jalan tol melintas kendaraan-kendaraan yang memiliki karakteristik sebagai berikut: arus maksimum kendaraan per lajur sama dengan arus maksimum dari gerbong-gerbong kereta api, panjang rata-rata kendaraan adalah 18 ft, kepadatan macet sama dengan 170 kendaraan/mil, dan arus diasumsikan mengikuti aturan Greenshields. Dengan menggunakan asumsi yang sesuai, plotlah kurva-kurva $q-k-v$ untuk arus-arus pada jalan kereta api dan lajur jalan tol. Uraikan jawaban Anda. Jika kereta api membawa rata-rata 15 orang/gerbong, sedangkan jumlah penumpang rata-rata di dalam kendaraan-kendaraan di lajur jalan tol adalah 1,25, bandingkanlah arus orang pada kedua sistem tersebut. (Diasumsikan kereta api berjalan menggunakan rezim dua, dan diasumsikan jalan tol mempunyai total empat lajur).
25. Hubungan linier berikut ini diestimasi berdasarkan data-data yang dikumpulkan oleh seorang pengamat dari sebuah lajur jalan tol:

$$v = 30 - \frac{q}{120}$$

di mana v adalah kecepatan rata-rata ruang (mil/jam) dan q adalah arus (kendaraan/jam). Waktu tempuh rata-rata (menit) pada arus q dinyatakan dengan $t(q) = 60d/v$, di mana d = panjang jalan (mil). Waktu tempuh total per jam untuk arus q adalah $T(q) = qt(q)$. Jika fungsi waktu tempuh marginal $MT(q)$ didefinisikan sebagai waktu tambahan pada q kendaraan akibat peningkatan arus oleh penambahan kendaraan satu buah, maka $MT(q) = dT(q)/dq$.

- Hitunglah nilai rata-rata, total, dan waktu tempuh marginal per mil dari panjang perjalanan untuk rentang arus 200 sampai 2000 kendaraan/jam.
- Plotlah ketiga fungsi waktu ini pada grafik yang sama.

Desain Geometris Jalan Raya

1. PENDAHULUAN

Desain geometris jalan raya mengacu pada pengaturan terhadap dimensi-dimensi kasat-mata dari jalan (*street*) dan jalan raya (*highway*). Tujuan utamanya adalah menyediakan pergerakan lalu-lintas yang aman, efisien, dan ekonomis. Para perancang juga harus mempertimbangkan dampak sosial dan dampak lingkungan yang mungkin muncul dengan adanya pembangunan berbagai fasilitas transportasi, baik yang baru maupun yang dibangun ulang. Di antara sekian banyak faktor, faktor perilaku pengemudi dan kondisi lalu-lintaslah yang paling berpengaruh dalam desain geometris. Prinsip-prinsip desain geometris adalah hasil dari berbagai riset dan pengalaman selama bertahun-tahun. Di Amerika Serikat, *American Association of State Highway and Transportation Official* (AASHTO) adalah badan yang bertanggung jawab atas pengembangan standar-standar desain ini. Dari beberapa standar yang telah diterbitkan oleh AASHTO, *A Policy on Geometric Design of Highways and Streets* (AASHTO, 2001) merupakan referensi yang paling utama.

Perancang jalan atau jalan raya memperhatikan paling tidak empat topik desain, yaitu (1) desain lokasi; (2) desain alinyemen, yang meliputi pengendalian dan kriteria desain; (3) desain persimpangan jalan; dan (4) desain akses. Masing-masing dari keempat topik ini akan diuraikan dalam bab ini.

2. DESAIN LOKASI

Salah satu bagian yang paling penting dalam proses desain adalah penentuan lokasi jalan raya. Prosedur penentuan lokasi jalan merupakan suatu proses yang berulang-ulang, di mana dalam proses ini insinyur, perencana, ahli ekonomi, ahli ekologi, dan ahli sosial membantu memilih beberapa kemungkinan lokasi berdasarkan informasi dan data yang tersedia, dan kemudian mempersempit hasil-hasil pemilihan ini dengan bantuan informasi selanjutnya. Biasanya, proses pemilihan lokasi harus dilakukan dengan sangat cermat, dengan mempertimbangkan biaya dan efisiensi operasional dari fasilitas yang akan dibangun. Yang menjadi pertimbangan utama

adalah mencari rute yang terbaik bagi pengguna jalan, baik dari sisi manfaat maupun dari sisi biaya, namun faktor sosioekonomi dan faktor lingkungan pun harus dipertimbangkan.

Pembahasan akan kita mulai dengan sebuah survey untuk menentukan kebutuhan lalu-lintas di suatu daerah dan faktor pengendali di dalam area koridor jalur umum, seperti bentuk permukaan dan/atau fasilitas yang telah ada. Informasi yang biasanya dibutuhkan dalam desain dan perencanaan lokasi adalah:

- Tata guna lahan, penyebaran penduduk, dan kepadatan penduduk.
- Struktur geologis suatu daerah
- Potensi pengembangan industri, pertanian, pemukiman, atau rekreasi di masa depan.
- Jalan biasa dan jalan raya yang telah ada di daerah itu
- Utilitas dan fasilitas yang ada di daerah ini
- Foto-foto dari fitur-fitur pengendalian
- Peta-peta fotogrametrik dari daerah bersangkutan

Garis-garis besar tahap yang dibutuhkan untuk memilih suatu alinyemen jalan adalah sebagai berikut:

1. Peta-peta topografi dipersiapkan untuk memilih lokasi pendahuluan (biasanya berdasarkan survey udara dan/atau pemetaan)
2. Sebuah peta dasar (skala 1 inci = 200 ft; interval-interval kontur 2 sampai 5 ft) digunakan untuk mempelajari setiap alternatif kemungkinan.
3. Rincian-rincian topografik di masa datang ditambahkan untuk memilih satu desain dan lokasi akhir, dan alinyemen ini ditandai pada satu set peta (1 inci = 100 ft; interval kontur hingga 2 ft).
4. Dengan menggunakan suatu sistem koordinat untuk menempatkan fitur-fitur yang dianggap penting, ditetapkanlah pengendalian horizontal dan vertikal untuk memastikan tinggi alinyemen akhir.
5. Dalam pemilihan alinyemen akhir digunakan beberapa kriteria. Beberapa kriteria utama adalah biaya proyek, biaya bagi pengguna dan non-pengguna, dampak lingkungan dan sosial yang timbul dengan adanya proyek, dampak jangka pendek dan jangka panjang pada berbagai kelompok sosial, dan dampak sejarah dan arkeologis.

Ditemukannya teknik fotogrametrik dan komputer telah merevolusi proses penentuan alinyemen jalan. Ada beberapa buku tentang survey dan teknik jalan raya yang membahas secara detil tentang pekerjaan lapangan, persyaratan data, dan pembuatan denah (JHK and Associates, 1980; Anderson and Mikhail, 1998; Meyer and Gibson, 1980; Wright, 1996).

3. KRITERIA DESAIN DAN PENGENDALIAN DESAIN

Karakteristik kendaraan dan pejalan kaki, volume lalu-lintas dan komposisinya, laju desain yang digunakan, dan berat kendaraan-kendaraan menentukan kriteria untuk mengoptimalkan atau meningkatkan fasilitas jalan raya.

3.1 Kendaraan-kendaraan Desain

Suatu kelompok yang mewakili jenis kendaraan dengan persamaan ciri-ciri fisik dan operasionalnya dipilih untuk menentukan pengendalian desainnya pada jalan raya. Menyadari pentingnya kendaraan desain, AASHTO (2001) menyatakan sebagai berikut:

Kunci penentu desain geometris jalan raya adalah ciri-ciri fisik dan bentuk berbagai ukuran kendaraan yang menggunakan jalan raya. Dengan demikian, mempelajari seluruh tipe kendaraan, menentukan golongan kendaraan berdasarkan kelasnya, dan memilih kendaraan mana dari setiap kelas yang ukurannya representatif untuk kepentingan desain, adalah hal yang selayaknya dilakukan. Kendaraan-kendaraan hasil seleksi, beserta berat, dimensi, dan karakteristik operasinya masing-masing, yang digunakan untuk menentukan persyaratan desain jalan raya untuk kendaraan dari masing-masing kelas ini disebut sebagai kendaraan desain. Untuk tujuan-tujuan yang berhubungan dengan desain geometris, setiap kendaraan desain mempunyai dimensi-dimensi fisik yang lebih besar dan radius tikungan minimum yang lebih besar dibandingkan kebanyakan kendaraan di kelasnya. Kendaraan desain yang biasanya dicari dalam pembuatan jalan tol adalah kendaraan desain yang ukurannya paling besar.

Kendaraan penumpang, bis, truk, dan kendaraan rekreasi adalah empat kelas umum kendaraan yang menjadi bahan pertimbangan dalam desain geometris. Kendaraan penumpang meliputi seluruh kendaraan ringan, mobil sport, minibus, dan mobil minibox, seperti mobil bak terbuka dan mobil van. Dimensi dari sembilan belas kendaraan desain dapat dilihat pada Tabel 6-1. Kendaraan desain terbesar yang digunakan untuk fasilitas transportasi tertentu harus menjadi bahan pertimbangan utama dalam desain. Tabel 6-2 memuat radius-radius tikungan minimum dari kendaraan-kendaraan desain. Tabel ini juga memuat dimensi dan radius tikungan dari traktor pertanian. Contoh-contoh rute tikungan dari kendaraan penumpang, truk, dan bus diperlihatkan pada Gambar 6-1.

Para pendesain harus mempertimbangkan faktor-faktor seperti *ground clearance*, ujung kendaraan (*overhang*), dan lengkungan vertikal pada jalan raya ketika mereka sedang mendesain fasilitas transportasi.

3.2 Kendaraan dan Dampak yang Ditimbulkannya

Perencanaan jalan raya sangat dipengaruhi oleh karakteristik percepatan dan perlambatan kendaraan. Gambar 6-2 memperlihatkan jarak percepatan dan perlambatan untuk berbagai kendaraan penumpang pada berbagai tingkat.

Lahan yang bersebelahan dengan jalan raya dipengaruhi oleh polusi udara akibat emisi kendaraan. Kebisingan yang diakibatkan oleh kendaraan juga mempengaruhi lahan, khususnya daerah pemukiman. Kedua faktor di atas harus dievaluasi pada waktu kita mempertimbangkan alternatif desain. Iring-iringan beraneka kendaraan, kecepatan kendaraan, suhu udara, dan mobil-mobil tua adalah beberapa faktor yang menentukan tingkat polusi udara dan kebisingan.

Contoh 1

Sebuah kendaraan penumpang berjalan dengan kecepatan 40 mil/jam di atas jalan datar yang kering.

- (a) Berapakah perubahan kecepatan yang terjadi jika kendaraan tersebut melakukan percepatan untuk jarak 350 ft?
- (b) Dengan menggunakan kecepatan akhir dari bagian (a), berapakah jarak yang dibutuhkan untuk memperlambat kendaraan sampai 30 mil/jam dengan nyaman?

Jawaban

- (a) Dari Gambar 6-2(a), dan membaca kurva untuk kecepatan 40 mil/jam ke arah sumbu x positif, kita dapat melihat di mana kurva ini dan 350 feet bertemu; di sini koordinat y adalah 50 mil/jam, dengan demikian kecepatan yang baru adalah 50 mil/jam.
- (b) Dari Gambar 6-2(b), dengan menggunakan kecepatan awal, 50 mil/jam, dari sumbu y , dan menarik garis horizontal dari titik tersebut sampai memotong garis putus-putus

Tabel 6-1 Dimensi-dimensi Kendaraan Desain

Jenis Kendaraan Desain	Simbol	Keseluruhan				Ujung Kendaraan		Dimensi (kaki)						
		Lebar		Panjang	Depan	Belakang	Rangka Dasar (Wheelbase) /WB ₁	Rangka Dasar (Wheelbase) /WB ₂		T	Rangka Dasar (Wheelbase) /WB ₃	Rangka Dasar (Wheelbase) /WB ₄	Jenis <i>Klingpin</i> ke Pusat As Roda Belakang	
		Tinggi							S					
Kendaraan Penumpang	P	4,25	7	19	3	5	11	-	-	-	-	-	-	
Truk Satu Unit	SU	11-13,5	8,0	30	4	6	20	-	-	-	-	-	-	
Bis														
Bis antar-kota	BUS-40	12,0	8,5	40	6	6,3 ^a	24	3,7	-	-	-	-	-	
	BUS-45	12,0	8,5	45	6	8,5 ^a	26,5	4,0	-	-	-	-	-	
Bis kota	CITY-BUS	10,5	8,5	40	7	8	25	-	-	-	-	-	-	
Bis sekolah (65 penumpang)	S-BUS 36	10,5	8,0	35,8	2,5	12	21,3	-	-	-	-	-	-	
Bis sekolah ukuran besar (84 penumpang) ²	S-BUS 40	10,5	8,0	40	7	13	20	-	-	-	-	-	-	
Bis tingkat	A-BUS	11,0	8,5	60	8,6	10	22,0	19,4	6,2 ^a	13,2 ^a	-	-	-	
Truk														
Semitrailer	WB-40	13,5	8,0	45,5	3	2,5 ^a	12,5	27,5	-	-	-	-	27,5	
Semitrailer	WB-50	13,5	8,5	55	3	2 ^a	14,6	35,4	-	-	-	-	37,5	
Semitrailer antar-negara-bagian	WB-62*	13,5	8,5	68,5	4	2,5 ^a	21,6	40,4	-	-	-	-	42,5	
Semitrailer antar-negara-bagian	WB-65** atau WB-67	13,5	8,5	73,5	4	4,5-2,5 ^a	21,6	43,4-45,4	-	-	-	-	45,5-47,5	
Semitrailer/Trailer Dasar-Ganda	WB-67D	13,5	8,5	73,3	2,33	3	11,0	23,0	3,0 ^b	7,0 ^b	23,0	-	23,0	
Semitrailer/Trailer Dasar-Tripel	WB-100T	13,5	8,5	104,8	2,33	3	11,0	22,5	3,0 ^c	7,0 ^c	23,0	23,0	23,0	
Semitrailer/Trailer Ekspres	WB-109D*	13,5	8,5	114	2,33	2,5 ^c	14,3	39,9	2,5 ^d	10,0 ^d	44,5	-	42,5	
Kendaraan Rekreasi														
Rumah mobil	MH	12	8	30	4	6	20	-	-	-	-	-	-	
Mobil dan trailer karavan	P/T	10	8	48,7	3	10	11	-	5	19	-	-	-	
Mobil dan trailer perahu	P/B	-	8	42	3	8	11	-	-	5	15	-	-	
Rumah mobil dan trailer perahu	MH/B	12	8	53	4	8	20	-	6	15	-	-	-	
Traktor pertanian ¹	TR	10	8-10	16 ^g	-	-	10	9	3	6,5	-	-	-	

*Kendaraan desain trailer 48 ft yang tersebut di dalam Surface Transportation Assistance Act (STAA) 1982.

**Kendaraan desain trailer 53 ft yang tersebut di dalam Surface Transportation Assistance Act (STAA), 1982.

^aDimensi gabungan adalah 19,4 ft dan lebar bagian gandengan 14 ft.

^bDimensi gabungan biasanya 10,0 ft.

^cDimensi gabungan biasanya 10,0 ft.

^dDimensi gabungan biasanya 10,0 ft.

^eBagian ujung kendaraan dari as roda belakang pada rakitan as roda tandem.

^fDimensi yang berlaku adalah untuk traktor 150-200 hp, tidak termasuk panjang wagon (kendaraan gerak-4-roda) tertentu.

^gUntuk mendapatkan panjang total traktor dan satu wagon, tambahkan 18,5 ft pada panjang traktor. Panjang wagon diukur dari bagian depan ke bagian belakang wagon, dan panjang *drawbar* adalah 18,5 ft.

• WB₁, WB₂, and WB₃ adalah rangka dasar efektif kendaraan, atau jarak antara kelompok as roda, dimulai dari bagian depan ke arah belakang masing-masing unit.

• S adalah jarak dari as roda efektif belakang ke titik sambungan.

• T adalah jarak dari titik sambungan yang diukur ke pusat as roda atau pusat rakitan as roda tandem.

Sumber: AASHTO, 2001 = Sumber: AASHTO, 2001

Table 6-2 Radius Menikung Minimum dari Kendaraan Desain

Tipe Kendaraan Desain	Kendaraan Penumpang	Truk Unit-Tunggal	Bis Antar-Kota		Bis Kota	Bis Sekolah (65 penumpang)	Bis Sekolah ukuran Besar ² (84 penumpang)	Bis Tingkat	Semi-trailer sedang	Semi-trailer sedang
Simbol	P	SU	BUS-40	BUS-45	CITY-BUS	S-BUS36	S-BUS40	A-BUS	WB-40	WB-50
Radius Menikung Desain Minimum (ft)	24	42	45	45	42,0	38,9	39,4	39,8	40	45
Radius Menikung Garis Pusat ¹ (CTR)	21	38	40,8	40,8	37,8	34,9	35,4	35,5	36	41
Radius bagian-dalam Minimum (ft)	14,4	28,3	27,6	25,5	24,5	23,8	25,4	21,3	19,3	17,0
Jenis Kendaraan Desain	Semi-trailer antar-negara-bagian		Kombi-nasi “Dasar-Ganda”	Semi-trailer/ Trailer Tripel	Semi-trailer/ Trailer Ekspres	Rumah Mobil	Mobil dan Trailer Karavan	Mobil dan Trailer Kapal	Rumah Mobil dan Trailer Kapal	Traktor Pertanian dengan Satu Wagon
Simbol	WB-62*	WB-65** atau WB-67	WB-67D	WB-100T	WB-109D*	MH	P/T	P/B	MH/B	TR/W
Radius Menikung Desain Minimum (m)	45	45	45	45	60	40	33	24	50	18
Radius Menikung Garis Pusat ¹ (CTR)	41	41	41	41	56	36	30	21	46	14
Radius bagian dalam Minimum (m)	7,9	4,4	19,3	9,9	14,9	25,9	17,4	8,0	35,1	10,5

* = Kendaraan desain trailer 48 ft yang tersebut di dalam Surface Transportation Assistance Act (STAA) 1982.

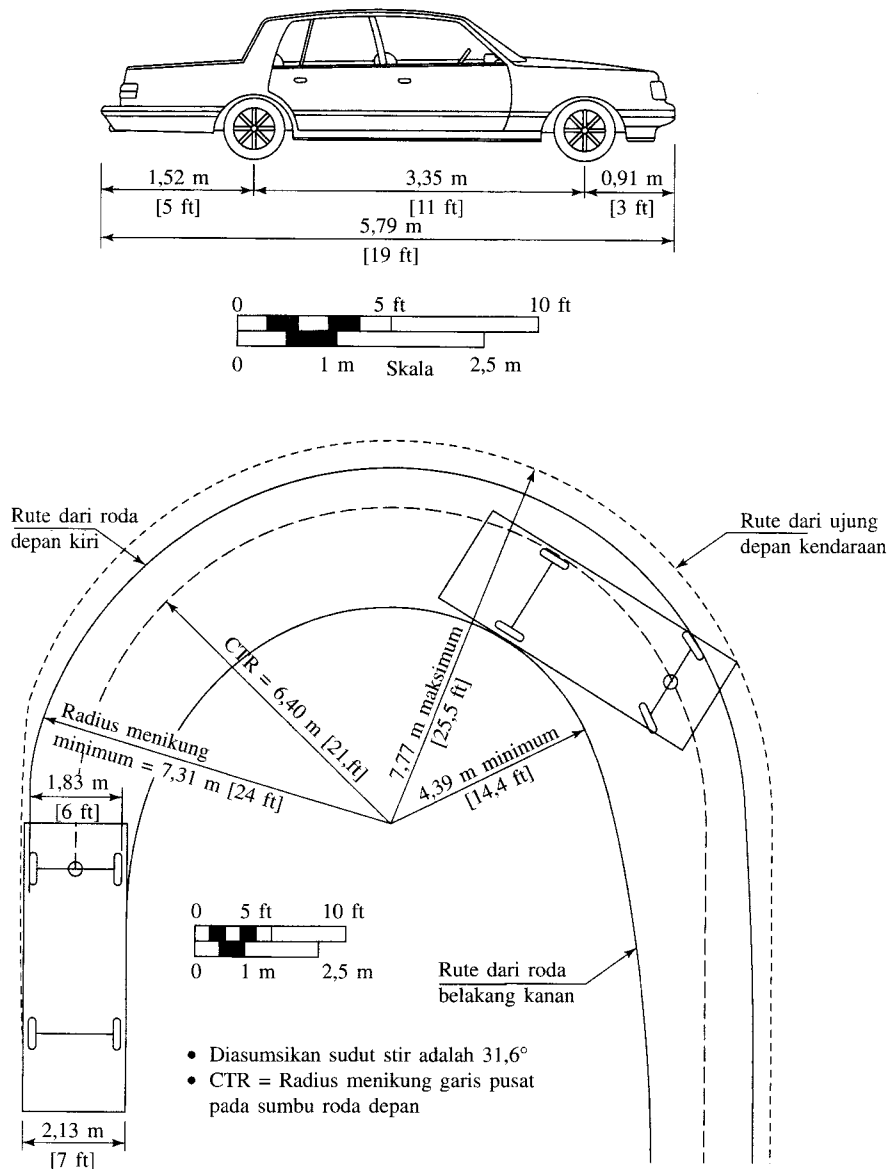
** = Kendaraan desain trailer 53 ft yang tersebut di dalam Surface Transportation Assistance Act (STAA) 1982.

¹ = Radius menikung yang dipakai oleh perancang ketika mengamati rute-rute menikung yang mungkin ada. Radius ini ditentukan pada garis pusat di as roda-depan kendaraan. Jika rute menikungnya minimum, CTR akan hampir sama dengan radius menikung desain minimum dikurangi satu-setengah lebar depan kendaraan.

² = Ukuran bis sekolah dirancang untuk 42 sampai dengan 84 penumpang. Ini sesuai dengan panjang rangka-dasar masing-masing sebesar 132 inci dan 237 inci. Untuk perbedaan ukuran ini, radius menikung desain minimumnya bervariasi dari 28,8 sampai 39,4 ft dan radius bagian dalam minimum bervariasi dari 14,0 ft sampai 25,4 ft.

³ = Radius menikung ini adalah untuk traktor 150-200 hp dengan satu wagon sepanjang 18,5 ft tergandeng pada titik sambungnya. Roda depan tidak menyambung dan tidak memiliki rem.

Sumber: AASHTO, 2001.

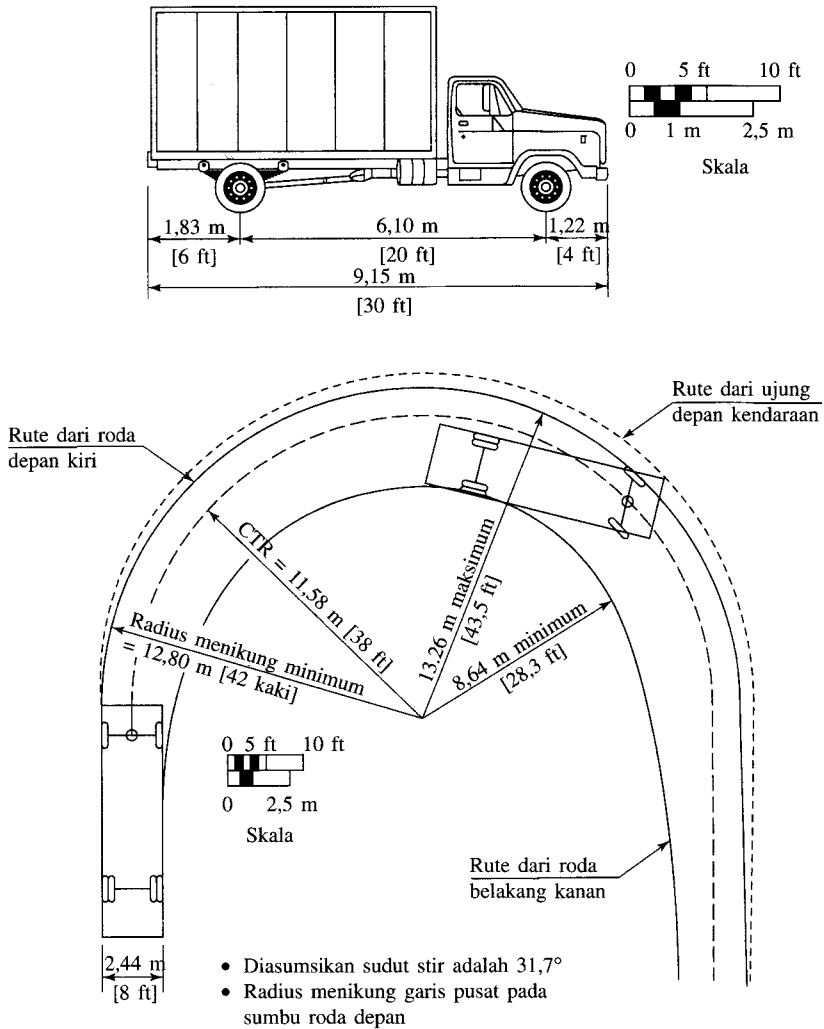


Gambar 6-1(a) Rute Menikung Minimum untuk Kendaraan Desain Mobil Penumpang (P) (AASHTO, 2001).

C kita dapat melihat bahwa koordinat x adalah 240 feet. Dengan demikian, jarak yang dibutuhkan adalah 240 feet.

3.3 Kemampuan Pengemudi

Mengemudi merupakan tugas yang kompleks dan sulit. Hal ini khususnya berlaku ketika kendaraan bergerak berada dalam kecepatan tinggi, pengemudi sedang terdesak oleh waktu, (misalnya mencoba untuk mencapai tujuan dengan tepat waktu), lokasi yang dijalani masih asing, dan ketika kondisi lingkungan sedang buruk. Performa pengemudi adalah salah satu komponen terpenting yang harus diperhatikan ketika mendesain jalan raya.

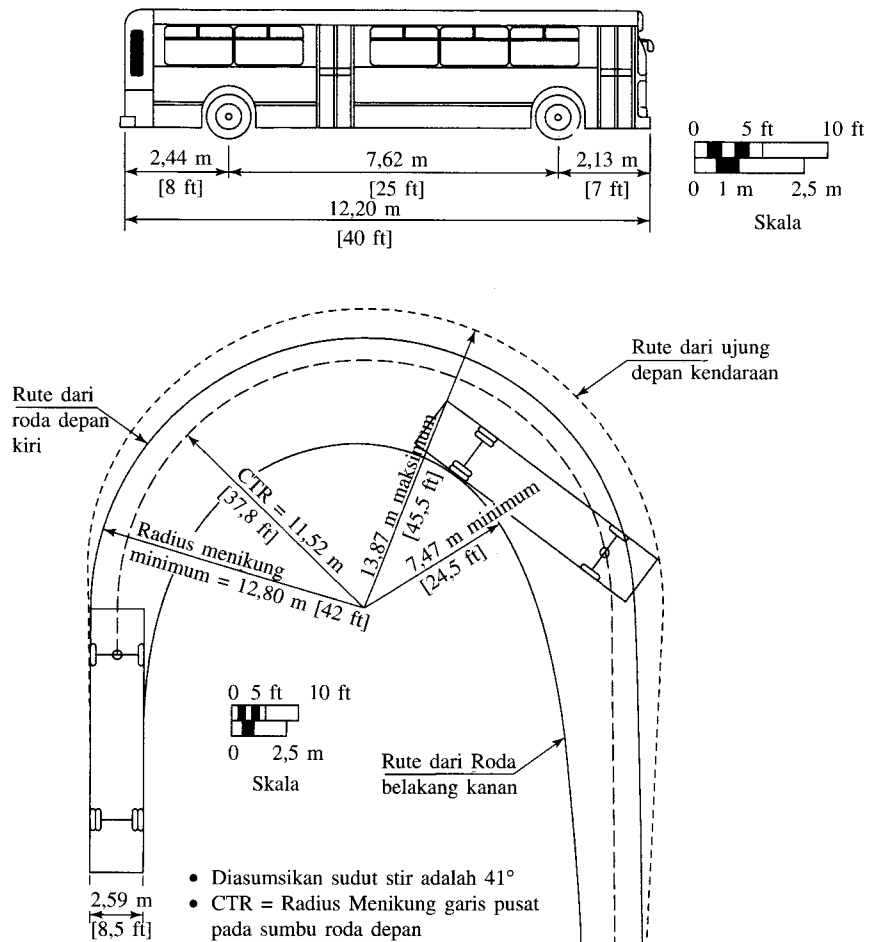


Gambar 6-1(b) Rute Menikung Minimum untuk Kendaraan Desain Truk Unit-Tunggal (SU) (AASHTO, 2001).

Tugas mengemudi bergantung pada bagaimana informasi diterima dan digunakan. Kunci dari keamanan dan efisiensi mengemudi adalah kemampuan membaca informasi tanpa kesalahan. Aktivitas performa mengemudi dibagi ke dalam tiga tingkat, yaitu pengendalian, petunjuk, dan navigasi. Mengarahkan dan mengendalikan kecepatan, mengikuti jalan, dan perencanaan perjalanan, dan mengikuti jalur adalah masing-masing contoh pengendalian, petunjuk, dan navigasi.

3.3.1 Pengolahan Informasi Terlepas dari apakah mereka menyadarinya atau tidak, pengemudi melakukan beberapa fungsi dalam waktu yang hampir bersamaan. Beberapa sumber informasi dan masukan lainnya saling bersaing merebut perhatian pengemudi. Melalui proses membagi perhatian, pengemudi menggabungkan berbagai masukan informasi dan berusaha tetap waspada terhadap perubahan lingkungan sekitarnya. Beberapa keputusan harus dibuat dengan segera; sementara keputusan lainnya bisa ditunda, tergantung kebutuhan.

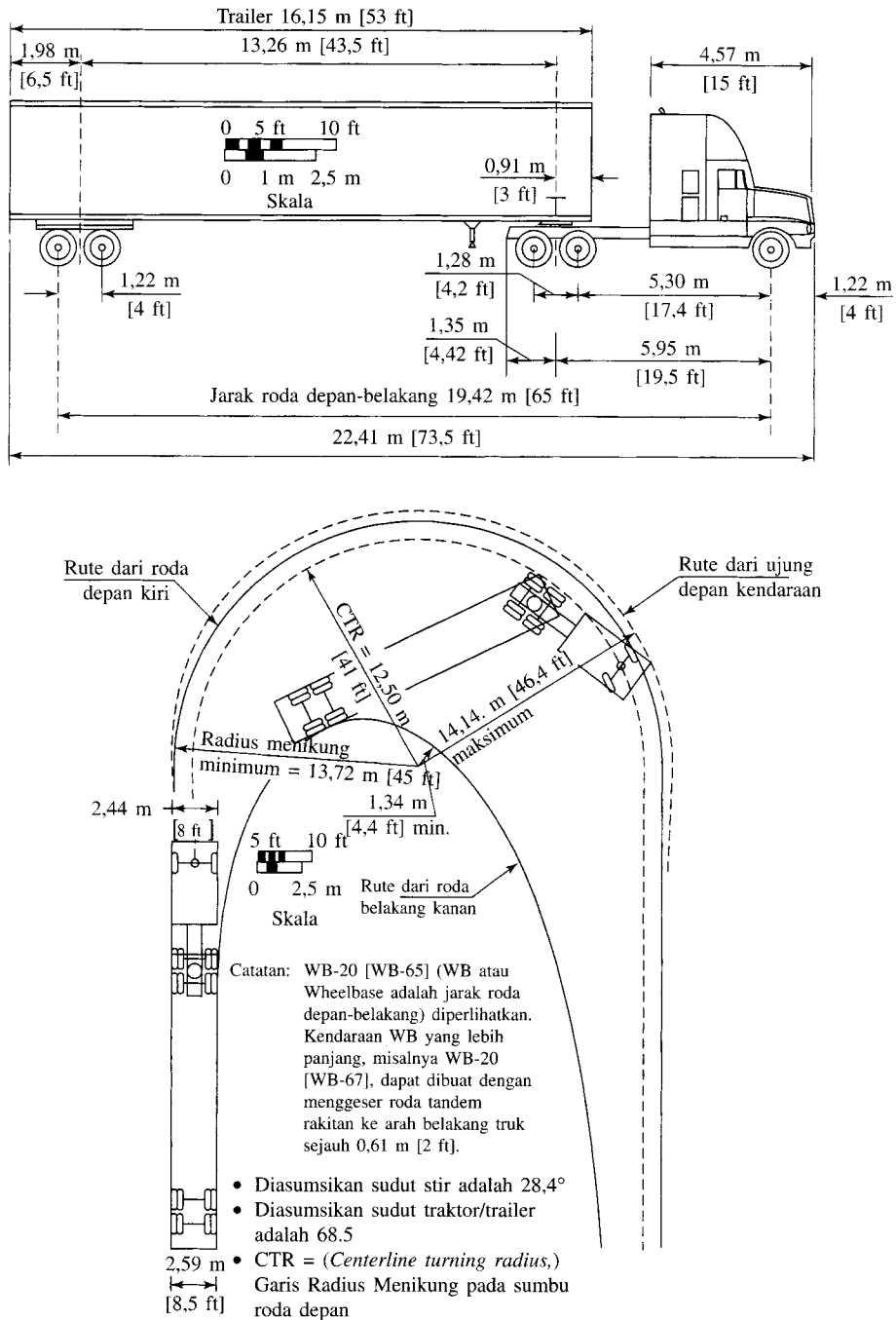
3.3.2 Waktu Reaksi Saat-saat reaksi pengemudi meningkat sebagai fungsi dari semakin meningkatnya kompleksitas. Peluang kesalahan pengemudi meningkat sebagai fungsi dari



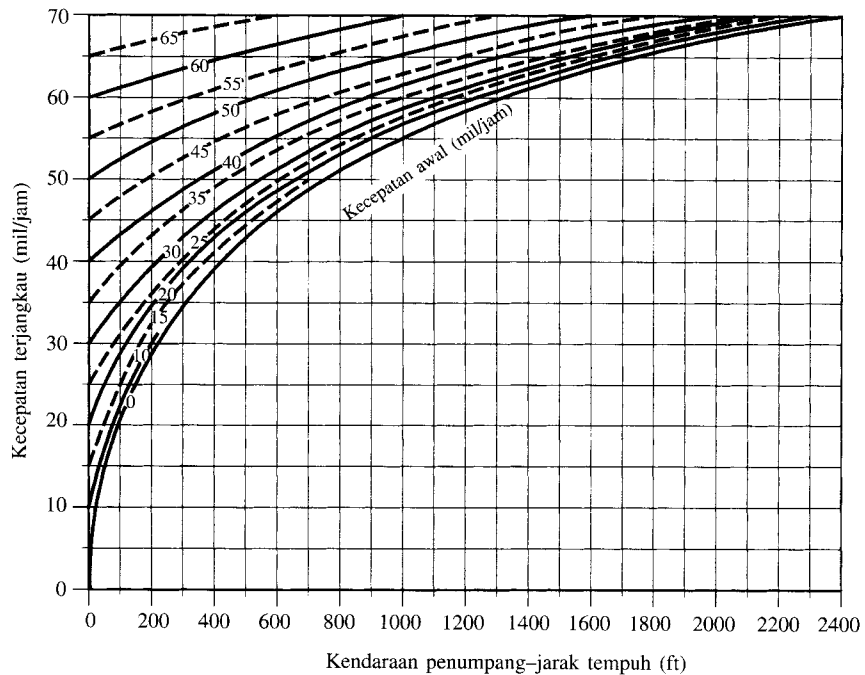
Gambar 6-1(c) Rute Menikung Minimum untuk Kendaraan Desain Bis Kota (CITY-BUS) (AASHTO, 2001).

semakin panjangnya waktu reaksi. Waktu reaksi pengereman untuk kejadian yang sudah diperkirakan akan terjadi rata-rata sekitar 2/3 detik, namun bisa juga mencapai 2 detik. Untuk peristiwa yang tidak diperkirakan akan terjadi biasanya dibutuhkan waktu 35% lebih panjang.

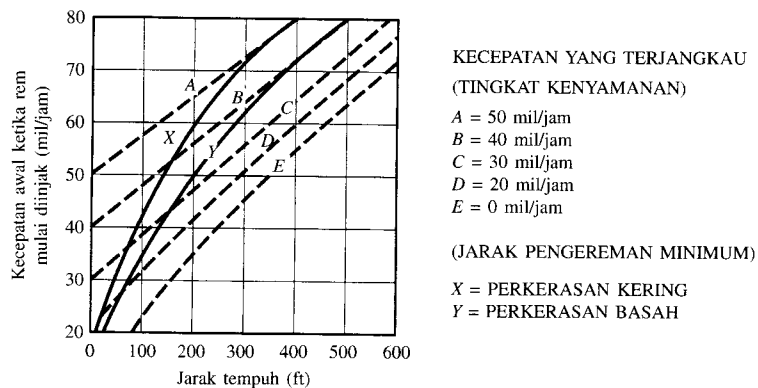
3.3.3 Kecepatan “Kecepatan mengurangi penglihatan, membatasi penglihatan samping, dan membatasi pula waktu yang tersedia bagi pengemudi untuk menerima dan memproses informasi. Jalan raya yang dibangun khusus untuk mengakomodasi kendaraan berkecepatan tinggi membantu mengkompensasi kendala-kendala ini dengan cara menyederhanakan aktivitas pengendalian dan aktivitas petunjuk, membantu pengemudi dengan memberi informasi yang sesuai, dengan menempatkan informasi ini di tempat yang jelas, dengan menghilangkan sebagian besar kebutuhan akan penglihatan samping, dan dengan menyederhanakan keputusan-keputusan yang perlu diambil dan menempatkan keputusan-keputusan tersebut lebih jauh sehingga mengurangi keharusan memproses informasi” (AASHTO, 2001, Hal. 56). Pada saat yang sama, standar-standar desain yang tinggi ini, yang ditujukan untuk menjamin keselamatan dan keefisienan transportasi, dapat mengakibatkan kelelahan pada pengemudi dan memperlambat waktu reaksi, disamping mengurangi perhatian dan kewaspadaan, khususnya ketika pengemudi menempuh perjalanan yang lebih panjang daripada biasanya.



Gambar 6-1(d) Rute Menikung Minimum untuk Kendaraan Desain Truk Semi-trailer antar negara bagian (WB-20[WB-65 dan WB-67]) (AASHTO, 2001)



Gambar 6-2(a) Percepatan dari Kendaraan Penumpang, Kondisi Jalan Datar

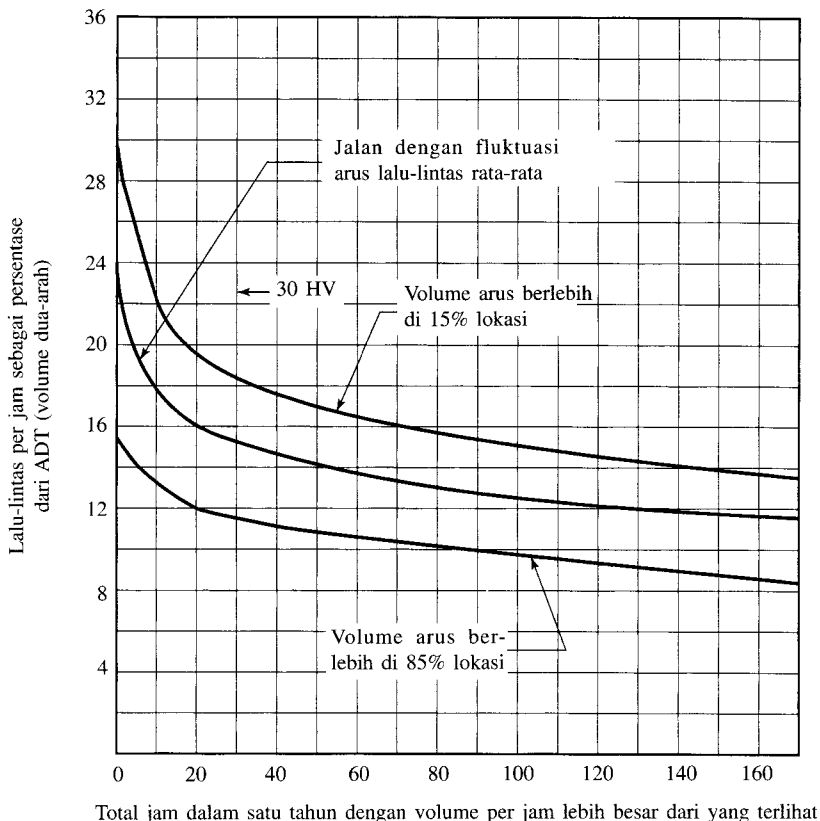


Gambar 6-2(b) Jarak Perlambatan Kendaraan Penumpang ketika Mendekati Persimpangan (AASHTO, 2001).

3.3.4 Kesalahan Pengemudi Ketika pengemudi harus melakukan beberapa tugas yang sangat rumit sekaligus dalam waktu yang sangat terbatas, pengemudi cenderung akan melakukan kesalahan. Lokasi-lokasi perkotaan yang memiliki titik-titik pengambilan keputusan yang berdekatan, tata guna lahan yang intensif, dan arus lalu-lintas yang padat adalah daerah-daerah sensitif di mana kemampuan pengemudi kemungkinan terbebani secara berlebihan. Di daerah pedesaan, pengemudi mungkin mengalami kondisi yang sebaliknya sehingga mereka menjadi lebih santai, sehingga malah berkendara dengan ceroboh.

3.4 Karakteristik Lalu-lintas

3.4.1 Volume Lalu-lintas Fitur-fitur geometris dari desain, seperti kedalaman, alinyemen, dan kelandaian, seluruhnya sangat dipengaruhi oleh komposisi dan volume lalu-lintas. Satuan umum untuk mengukur lalu-lintas adalah lalu-lintas harian rata-rata (*average daily traffic, ADT*), didefinisikan sebagai volume total selama suatu periode waktu tertentu (dalam keseluruhan hari), lebih besar dari satu hari dan kurang dari satu tahun, dibagi dengan jumlah hari dalam periode tersebut. ADT untuk suatu jalan raya dapat ditentukan dengan mudah apabila hasil-hasil perhitungan lalu-lintasnya tetap kontinu. Meskipun demikian, ADT sendiri bukanlah suatu ukuran lalu-lintas yang praktis karena unit pengukuran ini tidak memberi cukup indikasi mengenai perubahan lalu-lintas dalam tahun, minggu, atau jam demi jam dari hari bersangkutan. Secara alamiah kita membutuhkan selang waktu yang lebih pendek daripada satu hari agar bisa menggambarkan secara tepat kondisi operasi yang ada. Dalam kebanyakan kasus, periode waktu yang dianggap cukup memadai dan praktis adalah satu jam. Volume kendaraan pada jam puncak/sibuk (*peak hour*) adalah volume yang biasanya diterima sebagai kriteria untuk digunakan dalam desain geometris. Volume pada jam puncak ini adalah volume lalu-lintas yang diperkirakan akan menggunakan fasilitas transportasi dan disebut sebagai volume per jam desain (*design hourly volume, DHV*).



Gambar 6-3 Hubungan antara Jam Puncak dengan Volume Lalu-lintas Harian Rata-rata pada Jalan Arteri di Daerah Luar Perkotaan (AASHTO, 2001).

Pada jalan-jalan raya di luar kota, volume per jam tertinggi-ketigapuluh (30^{th} -highest hourly volume, 30HV) dari tahun bersangkutan adalah volume yang umumnya digunakan sebagai DHV. Gambar 6-3 memperlihatkan hubungan antara jam-sibuk dan volume lalu-lintas harian rata-rata pada jalan arteri di luar kota. Kurva-kurva pada gambar merepresentasikan volume-volume per jam dalam setahun yang dinyatakan sebagai persentase ADT dengan urutan besar-ke-kecil dan kurva di bagian tengah adalah rata-rata untuk seluruh lokasi pengamatan dan mewakili jalan raya dengan fluktuasi rata-rata di dalam arus lalu-lintasnya.

Kurva-kurva di atas menyimpulkan bahwa lalu-lintas per jam yang digunakan dalam desain seharusnya adalah volume per jam tertinggi ke-30 dari tahun itu (30HV). Bagaimanakah memilih angka 30 ini sehingga dapat diterima? Pemilihan harus demikian mengingat terdapatnya 29 jam kepadatan selama tahun bersangkutan. Selain itu, kurva di tengah naik tajam di sebelah kiri jam tertinggi-ke-30 yang berarti lebih sedikit jam akan diperoleh dengan biaya yang cukup besar. Kurva ini mendatar ke arah kanan yang mengindikasikan tambahan yang kecil jika kita gunakan jam yang lebih tinggi. Hukum tambahan-hasil yang semakin berkurang dapat dianggap berlaku selama jam tertinggi-ke-20 sampai jam tertinggi-ke-50. Kebijakan AASHTO (2001) memberikan penjelasan yang baik tentang 30HV dan DHV untuk jalan raya dalam kota. DHV secara umum dinyatakan sebagai persentase (K) dari ADT. Pengamatan menunjukkan bahwa nilai K (DHV dua-arah) berkisar dari 8 hingga 12% di perkotaan dan 12 hingga 18% di daerah luar kota. Jika yang tersedia hanya ADT satu-arah, maka ADT dua-arah dapat diperkirakan akan sebesar dua kali ADT satu arah.

Khususnya di daerah perkotaan, kita biasanya perlu juga mengetahui arus-arus puncak di dalam jam-puncak. Kondisi arus puncak ini bervariasi bergantung pada ukuran kota. Atas dasar hal itu, kita perlu mengetahui tidak saja arus jam-puncak, tetapi juga arus 15 menit tersibuk di dalam jam puncak tersebut.

Untuk jalan raya dua-lajur, DHV-nya adalah lalu-lintas total yang terdapat pada kedua arah jalan tersebut. Pada jalan raya multi-lajur, pengetahuan tentang volume lalu-lintas per jam pada tiap arah lajur merupakan hal yang penting untuk desain. Masalah ini menjadi penting bahkan pada fasilitas-fasilitas dua-lajur dengan simpang-simpang penting atau pada tempat di mana perluasan jalan mungkin dilakukan di masa yang akan datang. Penyebaran satu-arah (*directional distribution, D*) pada jalan raya biasanya menentukan persentase pada arah perjalanan yang lebih banyak. Penyebaran lalu-lintas menurut arah selama jam puncak relatif stabil dari tahun ke tahun dan dari hari ke hari pada suatu jalan raya. Nilai D untuk jalan raya di luar kota dan pinggir kota mempunyai rentang antara 60 sampai 80%. Di daerah pusat bisnis, nilai ini mendekati 50%. Pengukuran lapangan yang sebenarnya sebaiknya harus dilakukan pada jalan-jalan multi-lajur agar kita bisa menentukan D .

Komposisi lalu-lintas harus diketahui karena sangat berpengaruh terhadap desain. Volume dari kendaraan penumpang, truk, dan bis perlu diketahui karena masing-masing memiliki karakteristik operasional yang berbeda, khususnya dalam ukuran dan perbandingan berat/tenaga kuda (*horse power*). Jika dibutuhkan, data tentang komposisi lalu-lintas harus ditentukan lewat pengamatan lalu-lintas. Lalu-lintas truk dinyatakan sebagai suatu persentase dari lalu-lintas total selama jam desain.

3.4.2 Kecepatan Operasional Bagi pelaku perjalanan, kecepatan adalah satu di antara faktor yang paling penting untuk memilih rute atau menentukan moda transportasi. Faktor ekonomi, waktu tempuh, dan kenyamanan berhubungan erat dengan kecepatan. Kecepatan jalan raya umumnya dipengaruhi oleh enam kondisi: (1) kemampuan pengemudi yang menggunakan jalan raya, (2) karakteristik kendaraan yang menggunakan jalan raya, (3) karakteristik fisik dari jalan raya dan bahu-bahu jalannya, (4) cuaca, (5) kehadiran kendaraan lain (kepadatan),

dan (6) persyaratan kecepatan (baik persyaratan hukum atau karena peralatan pengendali). Akibat gabungan dari kondisi-kondisi ini menentukan kecepatan pada bagian jalan raya bersangkutan.

Tujuan utama pembuatan jalan raya adalah untuk memenuhi kebutuhan pengguna dengan cara yang seaman dan seekonomis mungkin. Harus dicari suatu nilai kecepatan yang sesuai untuk seluruh pengemudi. Kecepatan operasional (*operating speed*) dapat dipandang sebagai kecepatan total tertinggi di mana pada kecepatan ini seorang pengemudi dapat melintas di atas jalan raya tertentu pada kondisi cuaca yang ramah dan di bawah kondisi lalu-lintas normal dari bagian jalan yang satu ke bagian jalan lainnya. Ukuran kecepatan operasional yang paling sering digunakan adalah persentil ke-85 dari distribusi kecepatan hasil pengamatan untuk suatu lokasi atau fitur geometris tertentu. Ketika pengemudi terlihat sedang berjalan pada kondisi-kondisi volume-rendah, maka kecepatan operasionalnya dikenal sebagai kecepatan arus-bebas (*free-flow speed*), yang akan dibahas sesudah ini.

3.4.3 Kecepatan Desain “Kecepatan desain adalah suatu kecepatan yang khusus digunakan untuk menentukan berbagai fitur desain geometris dari jalan” (AASHTO, 2001). Untuk mencapai tingkat keamanan, mobilitas, dan efisiensi yang diinginkan namun tetap memperhatikan kualitas lingkungan, ekonomi, estetika dan dampak sosiopolitis, maka kecepatan desain yang digunakan haruslah semaksimal mungkin. Pengecualian dapat diberlakukan bagi jalan-jalan lokal di mana pembatasan kecepatan sering kali juga disertakan. Kecepatan desain yang digunakan harus diperhitungkan secermat mungkin agar sesuai dengan fungsi jalan raya, topografi, tata-guna lahan di sekitarnya, dan kecepatan arus-bebas yang telah diantisipasi.

Ada beberapa hal yang harus digarisbawahi: Kecepatan desain harus disesuaikan dengan kecepatan pengemudi rata-rata. Sebagai tambahan, biasanya pengemudi menyesuaikan kecepatannya bukan berdasarkan seberapa penting jalan raya bersangkutan tetapi lebih pada keterbatasan fisik dan kondisi lalu-lintas di jalan itu. Kecepatan desain yang konsisten pada suatu ruas jalan yang panjang merupakan faktor yang penting. Perubahan kecepatan secara drastis harus dihindari, dan apabila perubahan seperti ini benar-benar dibutuhkan (akibat faktor topografi), perubahan kecepatan harus dilakukan secara bertahap. Pengemudi harus mendapat peringatan akan apa yang akan terjadi, melalui sarana seperti rambu-rambu batas-kecepatan dan rambu kecepatan di tikungan. AASHTO (2001, hal. 67-71) menyediakan pembahasan yang lengkap dan mendalam tentang kecepatan desain. Singkatnya, batas maksimum untuk kecepatan desain yang rendah atau lebih rendah lagi adalah 45 mil/jam, dan batas minimum untuk kecepatan desain yang tinggi adalah 50 mil/jam.

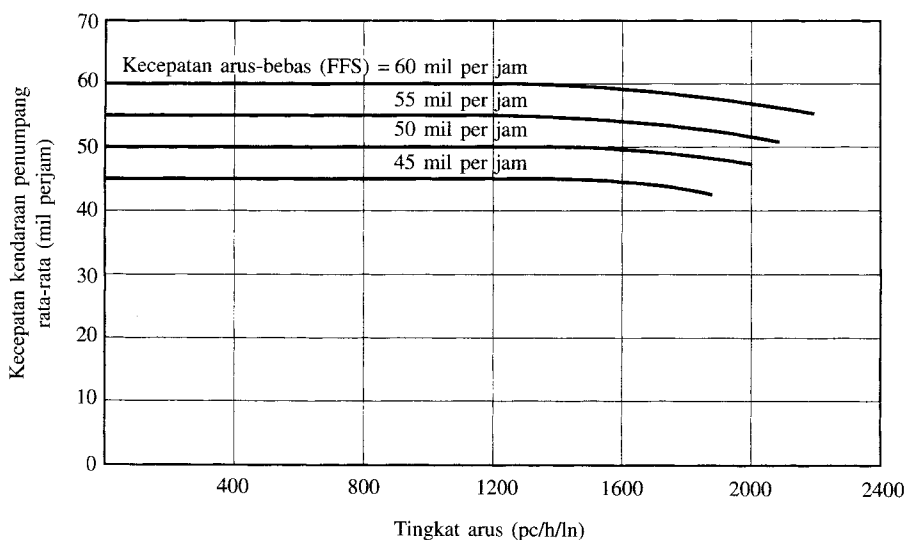
3.4.4 Kecepatan Gerak Kita perlu mengetahui kecepatan kendaraan aktual pada suatu bagian jalan raya. Hal ini diistilahkan dengan kecepatan gerak (*running speed*) dan besarnya sama dengan jarak tempuh kendaraan dibagi dengan waktu kendaraan tersebut dalam keadaan bergerak. Ketika kendaraan bergerak relatif kontinu, kecepatan spot (kecepatan di tempat) pada suatu ruas jalan akan ekuivalen dengan kecepatan gerak rata-rata. Kecepatan spot rata-rata adalah rata-rata aritmetik dari seluruh kecepatan lalu-lintas pada lokasi tertentu. Pada bagian jalan yang lebih panjang, kecepatan spot rata-rata dapat diperoleh dengan cara mengukur kecepatan spot di beberapa titik di sepanjang bagian jalan bersangkutan

3.4.5 Kecepatan Arus-Bebas Kecepatan arus-bebas (*free-flow speed*, FFS) adalah kecepatan lalu-lintas ketika kepadatan mendekati nol. Dalam prakteknya, kecepatan ini adalah kecepatan di mana pengemudi merasa nyaman berkendara pada kondisi-kondisi kontrol fisik, lingkungan, dan lalu-lintas yang terdapat di suatu ruas jalan raya atau jalan raya multi-lajur yang tidak padat. Definisi ini di satu sisi mirip dengan kecepatan operasional apabila dipakai

dalam kondisi-kondisi volume rendah, walaupun tetap bisa menyiratkan kecepatan-kecepatan yang lebih tinggi daripada batas kecepatan yang disyaratkan atau bahkan kecepatan desain di jalan raya. Penentuan di lapangan mengenai kecepatan arus-bebas dilakukan dengan cara melakukan pengamatan waktu-tempuh selama periode volume-rendah dan ini merepresentasikan suatu nilai sebenarnya yang akan digunakan dalam analisis kapasitas jalan raya. Dengan demikian, kecepatan operasional, sebagaimana telah didefinisikan sebelumnya, akan bervariasi pada suatu rentang kecepatan yang tergantung pada kondisi yang ada ketika pengukuran kecepatan dilakukan. Gambar 6-4 memperlihatkan hubungan kecepatan-arus untuk suatu ruas arus-tak terputus tipikal di suatu jalan raya multi-lajur apakah itu pada kondisi dasar atau kondisi bukan dasar di mana kecepatan arus-bebas diketahui. Gambar ini juga memperlihatkan bahwa kecepatan lalu-lintas pada jalan raya multi-lajur tidak sensitif terhadap volume lalu-lintas sampai ke tingkat arus sebesar 1.400 kendaraan penumpang per jam per lajur (*passenger cars per hour per lane-pc/h/ln*).

3.5 Kapasitas Jalan Raya dan Kontrol-kontrol Desain

Meskipun Bab 7 telah ditetapkan sebagai bab untuk membahas tentang kapasitas jalan raya, definisi dari kapasitas dan definisi dari tingkat pelayanan akan diberikan pada bagian ini untuk sekadar memberikan gambaran singkat. *Highway Capacity Manual* (TRB, 2000) mendefinisikan kapasitas sebagai “tingkat maksimum per jam di mana orang atau kendaraan dalam keadaan normal diperkirakan akan dapat melintasi suatu titik atau bagian yang sama dari suatu lajur jalan selama periode waktu tertentu di bawah kondisi jalan, lalu-lintas dan pengendalian yang normal”. Kapasitas kendaraan merepresentasikan jumlah maksimum kendaraan, sedangkan kapasitas orang merepresentasikan jumlah maksimum orang. Kapasitas orang biasanya digunakan ketika kita mengevaluasi layanan transit publik, jalur kendaraan yang padat, atau fasilitas pejalan kaki. Konsep tingkat pelayanan (*level of service*) dari suatu jalan raya menggunakan “ukuran-ukuran kualitatif yang menunjukkan karakteristik dari kondisi-



Gambar 6-4 Hubungan Kecepatan-Arus pada Jalan raya Multi-lajur (TRB, 2000)

kondisi operasional yang terdapat di dalam suatu aliran lalu-lintas, dan persepsi tentang ukuran-ukuran tersebut oleh para pengemudi dan penumpang”, di mana kondisi-kondisi ini umumnya dijelaskan oleh “ukuran-ukuran seperti kecepatan dan waktu tempuh, kebebasan untuk manuver, pemberhentian lalu-lintas, kenyamanan, dan kemudahan”. Informasi rinci tentang hal ini dan berbagai konsep lain yang terkait akan diuraikan pada Bab 7.

Informasi tentang kapasitas jalan raya memiliki tiga tujuan: (1) menilai kecukupan jaringan jalan raya yang ada dan memperkirakan kapan pertumbuhan lalu-lintas akan cenderung melampaui kapasitas; (2) membantu proses pemilihan jenis jalan raya dan kebutuhan dimensional dari jaringannya; (3) mempersiapkan kemungkinan-kemungkinan penyempurnaan operasional yang mungkin harus dilakukan di masa mendatang berdasarkan perubahan-perubahan yang cenderung terjadi dalam pengendalian lalu-lintas atau geometri jalan raya.

Volume desain adalah volume lalu-lintas, biasanya 10 sampai 20 tahun ke depan, yang diperkirakan akan menggunakan suatu fasilitas jalan raya. Tahun di masa depan (*future year*) ini merupakan tahun desainnya. Volume desain per jam (*design hourly volume*, DHV), telah diuraikan sebelumnya, diperoleh dari desain volume. Volume layanan desain, sebaliknya, adalah laju aliran lalu-lintas per jam maksimum yang dapat dilayani oleh suatu jalan raya tanpa mengakibatkan turunnya tingkat kemacetan hingga di bawah tingkat pelayanan yang telah ditetapkan (AASHTO, 2001, hal. 75).

3.5.1 Tingkat Kemacetan yang dapat Diterima Jalan raya dirancang secara khusus untuk tingkat pelayanan tertentu, sehingga mampu melayani pengguna kendaraan bermotor tanpa melampaui satu tingkat kemacetan tertentu. AASHTO (2001) memberikan beberapa prinsip dasar untuk membantu menentukan tingkat kemacetan yang dapat diterima.

1. Kebutuhan lalu-lintas tidak diperkenankan melebihi kapasitas jalan raya, bahkan untuk selang waktu yang pendek sekalipun.
2. Volume lalu-lintas desain per lajur tidak diperkenankan melebihi suatu tingkat di mana pada tingkat tersebut lalu-lintas masih dapat membebaskan diri dari antrian panjang.
3. Pengguna kendaraan harus diberikan sedikit keleluasaan dalam menentukan kecepatan (kecepatan bisa saja dipengaruhi oleh panjang perjalanan).
4. Kondisi operasional harus menyediakan sedikit banyak kebebasan dari tekanan bagi pengemudi, yang disesuaikan dengan panjang dan durasi perjalanan.
5. Terdapat batasan-batasan praktis dari suatu jalan tol yang ideal.
6. Perilaku pengguna kendaraan terhadap kondisi operasional yang buruk dipengaruhi oleh kesadaran mereka akan biaya pembangunan dan biaya daerah milik jalan (*right-of-way cost*) yang dibutuhkan untuk meningkatkan pelayanan.

Begitu suatu tingkat pelayanan telah dipilih atau ditentukan, maka seluruh elemen dari jalan harus dirancang agar konsisten dengan tingkat pelayanan tersebut. Selain itu, setiap tingkat layanan harus sesuai dengan volume layanan yang mengikutinya — volume layanan desainnya. Meskipun perancang dapat memilih tingkat pelayanan yang paling sesuai untuk suatu fasilitas jalan raya, Tabel 6-3 dapat memberikan petunjuk yang bermanfaat untuk menentukan tingkat pelayanan.

3.5.2 Pengendalian Akses Pengendalian akses (*access control*) adalah peraturan yang membatasi akses publik ke dan dari berbagai properti yang terletak di dekat fasilitas jalan raya. Peraturan-peraturan ini dibagi menjadi pengendalian penuh atas akses, pengendalian sebagian atas akses, dan peraturan-peraturan untuk jalan-jalan pribadi (*driveway and approach regulation*). Jalan tol memerlukan pengendalian penuh atas akses, sedangkan kelas jalan raya lainnya

Tabel 6-3 Petunjuk untuk Seleksi Tingkat-tingkat Pelayanan Desain

Tingkat Pelayanan yang Sesuai untuk Kombinasi Khusus pada Jenis Permukaan dan Area Tertentu				
Kelas Fungsional	Permukaan Rata di Luar Kota	Perbukitan di Luar Kota	Pegunungan di Luar Kota	Perkotaan dan Sub-perkotaan
Jalan Tol	B	B	C	C
Jalan Arteri	B	B	C	C
Jalan di Zona Pengumpul	C	C	D	D
Jalan Lokal	D	D	D	D

Tingkat Pelayanan	Kondisi Operasional Umum
A	Arus bebas
B	Arus bebas relatif
C	Arus stabil
D	Arus tidak stabil di persimpangan
E	Arus tidak stabil
F	Arus terpecah atau padat

Sumber: AASHTO, 2001.

dapat memiliki tingkat pengendalian akses yang bervariasi. Untuk jalan raya tanpa pengendalian penuh, tingkat keselamatan dapat dicapai dengan membatasi jumlah jalan dan persimpangan. Teknik-teknik lainnya bertujuan untuk (1) membatasi jumlah titik konflik, (2) memisahkan daerah konflik, (3) mengurangi kebutuhan akan perlambatan maksimum, dan (4) memindahkan kendaraan yang menikung atau beriringan dari ruas tertentu dari lajur tembus. Jenis jalan atau jalan raya yang dibangun harus dikoordinasikan dengan rencana tata-guna lahan setempat untuk menjamin bahwa tingkat pengendalian akses yang dikehendaki dapat dipertahankan.

3.5.3 Penentuan Desain Secara singkat, terdapat beberapa patokan pengendalian utama dalam desain jalan raya:

- Lalu-lintas harian rata-rata (ADT) tahun berjalan dan tahun yang akan datang.
- Desain volume per jam (DHV) untuk tahun mendatang
- Penyebaran satu-arah (D)
- Persentase truk (T)
- Kecepatan desain (v)
- Tingkat pelayanan desain (LOS)
- Pengendalian akses (AC)
- Persentase ADT (K)

4. ELEMEN-ELEMEN DESAIN

4.1 Jarak Penglihatan

Untuk mengoperasikan kendaraan dengan aman dan efisien, pengemudi harus memiliki kemampuan melihat ke arah depan dengan jelas. Dengan demikian, harus tersedia jarak penglihatan (jarak pandang) yang cukup panjang sehingga pengemudi dapat menjalankan dan mengendalikan kendaraannya dengan aman. Jarak penglihatan—panjang jalan raya yang dapat dilihat oleh pengemudi ke depan—akan kita bahas dalam empat kasus penting berikut:

1. Jarak-jarak yang dibutuhkan oleh kendaraan untuk berhenti.
2. Jarak-jarak yang dibutuhkan pada lokasi-lokasi yang kompleks.
3. Jarak-jarak yang dibutuhkan untuk melewati dan mendahului kendaraan lain, dapat diaplikasikan pada jalan raya dua-lajur.
4. Kriteria-kriteria untuk mengukur jarak tersebut di atas untuk digunakan dalam desain.

4.1.1 Jarak Penglihatan untuk Berhenti Pada setiap titik di jalan raya, jarak penglihatan minimum yang tersedia harus cukup untuk memungkinkan suatu kendaraan yang melintas pada kecepatan desain untuk berhenti sebelum mendekati suatu objek diam di rute kendaraan tersebut. Jarak penglihatan untuk berhenti merupakan gabungan dari dua jarak, yaitu jarak reaksi rem dan jarak pengereman.

Waktu reaksi rem adalah selang waktu antara saat di mana pengemudi menyadari kehadiran sebuah objek atau keadaan bahaya di depannya dengan saat di mana rem-remnya benar-benar berfungsi. Pengamatan intensif telah dilakukan untuk memastikan waktu reaksi rem. Waktu reaksi minimum 1,64 detik: 0,4 detik untuk mengingatkan pengemudi ditambah 1 detik untuk rambu yang tak terduga. Beberapa pengemudi bisa saja membutuhkan waktu 3,5 detik untuk merespon situasi yang sama. Bagi kira-kira 90% pengemudi, termasuk pengemudi usia lanjut, waktu reaksi sebesar 2,5 detik dianggap cukup memadai. Dengan demikian nilai inilah (2,5 detik) yang digunakan pada Tabel 6-4.

Jarak pengereman kendaraan di suatu jalan dapat ditentukan dengan rumus

$$d = \frac{v^2}{2a} \quad (1)$$

di mana

d = Jarak pengereman (ft)
 v = kecepatan Awal (ft/detik)
 a = Tingkat perlambatan (ft/detik²)

Tabel 6-4 Jarak Penglihatan untuk Berhenti

Kecepatan Desain (mil per jam)	Jarak Reaksi untuk Mengerem (ft)	Jarak Pengereman pada Jalan rata (ft)	Jarak Penglihatan untuk Berhenti	
			Hasil Perhitungan (ft)	Desain (ft)
15	55,1	21,6	76,7	80
20	73,5	38,4	111,9	115
25	91,9	60,0	151,9	155
30	110,3	86,4	196,7	200
35	128,6	117,6	246,2	250
40	147,0	153,6	300,6	305
45	165,4	194,4	359,8	360
50	183,8	240,0	423,8	425
55	202,1	290,3	492,4	495
60	220,5	345,5	566,0	570
65	238,9	405,5	644,4	645
70	257,3	470,3	727,6	730
75	275,6	539,9	815,5	820
80	294,0	614,3	908,3	910

Catatan: Jarak reaksi untuk mengerem ditentukan pada waktu 2,5 detik; tingkat perlambatan 11,2 ft/detik² digunakan untuk menentukan perhitungan jarak penglihatan.

Source: AASHTO, 2001 = *Sumber:* AASHTO, 2001

Hasil-hasil studi (Fambro dkk, 1997), mencatat bahwa kebanyakan pengemudi memperlambat kendaraannya pada tingkat perlambatan yang lebih besar daripada $14,8 \text{ ft/detik}^2$ ketika berhadapan dengan keadaan di mana kendaraan harus berhenti secara mendadak, misalnya ketika melihat objek yang tak terduga di jalan. Kurang lebih 90% dari seluruh pengemudi menunjukkan tingkat perlambatan paling tidak $11,2 \text{ ft/detik}^2$. Tingkat perlambatan seperti ini masih berada dalam batas kemampuan pengemudi untuk mengendalikan stir sambil tetap berada di dalam lajur ketika mengerem di atas permukaan basah. Kebanyakan sistem pengereman kendaraan dan tingkat gesekan ban-perkerasan juga mampu mengakomodasi tingkat perlambatan ini. Dengan demikian, tingkat perlambatan $11,2 \text{ ft/detik}^2$ adalah batas yang disarankan untuk menentukan jarak penglihatan untuk berhenti (AASHTO, 2001).

Jika kita menambahkan waktu reaksi pengemudi ke dalam Persamaan (1), maka kita memperoleh:

$$S = \frac{v^2}{2a} + vt_r \quad (2)$$

di mana t_r adalah waktu reaksi pengemudi (detik). Jika kecepatan dinyatakan dalam mil/jam, maka Persamaan (2) dapat ditulis sebagai berikut:

$$S = 1,075 \frac{V^2}{a} + 1,47 Vt_r \quad (3)$$

Perlu dicatat bahwa satuan untuk S adalah ft dan V adalah mil/jam, dengan asumsi bahwa $1 \text{ ft/detik} = 0,682 \text{ mil/jam}$ (atau $1,466 \text{ ft/detik} = 1 \text{ mil/jam}$).

Ketika suatu jalan raya berada dalam suatu kemiringan, persamaan untuk jarak waktu berhentinya harus dimodifikasi sebagai berikut:

$$S = \frac{V^2}{30 \left[\left(\frac{a}{32,2} \right) \pm G \right]} + 1,47 Vt_r \quad (4)$$

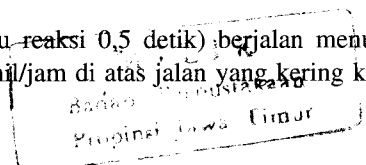
di mana

G (grade) = kemiringan/kelandaian longitudinal jalan raya dibagi 100.

Jarak penglihatan untuk berhenti yang dihitung berdasarkan Persamaan (3) diperlihatkan pada Tabel 6-4, dan dibuat berdasarkan pengoperasian untuk kendaraan penumpang. Jarak berhenti truk biasanya lebih panjang, khususnya truk berat. Jarak ini sedikit banyak diimbangi oleh kemampuan pengemudi truk untuk melihat lebih jauh ke depan melewati penghalang-penghalang karena posisi tempat duduk yang lebih tinggi di dalam truk tersebut. Oleh karena itu, dalam merancang jalan raya, kita tidak menggunakan jarak-jarak penglihatan berhenti terpisah untuk truk dan kendaraan penumpang. Bagaimanapun juga, pada titik akhir dari suatu jalan menurun di mana kecepatan truk akan mendekati atau bahkan melebihi kecepatan kendaraan penumpang, maka jarak yang dibutuhkan lebih besar dari jarak yang direkomendasikan dalam Tabel 6-4, atau seperti yang dilakukan pada perhitungan berdasarkan Persamaan (4). Di sini, dapat dilihat dengan mudah bahwa dalam situasi-situasi ini, posisi pengemudi truk yang lebih tinggi mempunyai keuntungan lebih.

Contoh 2

Seorang pengemudi yang waspada (dengan waktu reaksi 0,5 detik) berjalan menuruni bukit dengan kemiringan 4% pada kecepatan 35 mil/jam di atas jalan yang kering ketika



tiba-tiba seseorang muncul dari belakang sebuah mobil parkir persis di jalur pengemudi itu, pada jarak 125 ft.

- (a) Dapatkah pengemudi tersebut berhenti pada waktunya dengan menggunakan rem tangan dengan tingkat perlambatan sebesar 14,8 ft/detik²?
- (b) Dapatkah pengemudi berhenti pada waktunya ketika hujan dengan memakai rem kaki dengan tingkat perlambatan sebesar 11,2 ft/detik²?

Jawaban

$$(a) \quad S = \frac{35^2}{30 \left[\left(\frac{14,8}{32,2} \right) - 0,04 \right]} + 1,47 \times 35 \times 0,5 = 123,03 \text{ ft}$$

Dengan demikian, pengemudi dapat berhenti pada waktunya.

$$(b) \quad S = \frac{35^2}{30 \left[\left(\frac{11,2}{32,2} \right) - 0,04 \right]} + 1,47 \times 35 \times 0,5 = 158,38 \text{ ft}$$

Dalam kasus ini, pengemudi tidak dapat berhenti pada waktunya.

Pembahasan

Waktu reaksi pengemudi, kondisi perkerasan jalan, sistem pengereman kendaraan, dan kondisi cuaca saat itu seluruhnya memainkan peranan penting dalam masalah ini.

4.1.2 Jarak Penglihatan untuk Pengambilan Keputusan Meskipun jarak penglihatan berhenti umumnya sudah cukup memadai bagi seorang pengemudi yang waspada untuk menghentikan kendaraannya dalam situasi normal, jarak ini menjadi tidak memadai ketika informasi yang ada sulit untuk dicerna. Ketika seorang pengemudi harus mendeteksi suatu sumber informasi yang tak terduga atau sulit dicerna, maka jarak penglihatan untuk pengambilan keputusan harus tersedia. Simpang-susun (*interchange*) dan persimpangan, tempat-tempat seperti pintu tol dan areal pembangunan jalan layang, dan daerah “gangguan visual” adalah contoh di mana pengemudi membutuhkan jarak penglihatan untuk pengambilan keputusan. Tabel 6-5 memberikan nilai-nilai yang diberikan oleh perancang untuk jarak penglihatan yang memadai. Nilai tersebut dapat diaplikasikan untuk kebanyakan situasi dan telah disusun berdasarkan hasil pengamatan. Karena dibutuhkan jarak tambahan (untuk melakukan manuver) untuk keselamatan, disarankan bahwa jarak penglihatan untuk pengambilan keputusan disediakan pada lokasi-lokasi kritis atau titik-titik pengambilan keputusan dialihkan ke tempat-tempat di mana jarak yang ada cukup memadai. Tikungan horizontal ataupun vertikal bisa mencegah penyediaan jarak ini dan pemindahan titik-titik penting mungkin saja tidak praktis untuk dilakukan; dalam situasi ini penggunaan alat pengendalian lalu-lintas diperlukan untuk memberikan peringatan dini perihal kondisi-kondisi yang akan ada di depannya.

Jarak-jarak pada Tabel 6-5 untuk manuver menghindari A dan B dihitung dengan Persamaan 3; namun dengan waktu reaksi pengemudi yang telah dimodifikasi seperti dinyatakan dalam catatan pada Tabel 6-5. Jarak penglihatan untuk mengambil keputusan untuk manuver D, C, dan E, dihitung dari $1,47 V t_r$ dengan t_r yang telah dimodifikasi seperti diuraikan dalam catatan.

Tabel 6-5 Jarak Penglihatan untuk Pengambilan Keputusan

Kecepatan Desain (mil per jam)	Jarak Penglihatan untuk Mengambil Keputusan untuk Manuver Menghindar (ft)				
	A	B	C	D	E
30	220	490	450	535	620
40	330	690	600	715	825
50	465	910	750	890	1030
60	610	1150	990	1125	1280
70	780	1410	1105	1275	1445
80	970	1685	1260	1455	1650

Sumber: AASHTO, 2001

Catatan:

Manuver menghindar A: Berhenti pada suatu jalan di daerah luar kota ($t_r = 3,0$ detik)

Manuver menghindar B: Berhenti pada suatu jalan di daerah perkotaan ($t_r = 9,1$ detik)

Manuver menghindar C: Perubahan kecepatan/rute/arah pada suatu jalan di daerah luar kota (t_r bervariasi antara 10,2 dan 11,2 detik)

Manuver menghindar D: Perubahan kecepatan/rute/arah pada suatu jalan di daerah sub-perkotaan (t_r bervariasi antara 12,1 dan 12,9 detik)

Manuver menghindar E: Perubahan kecepatan/rute/arah pada suatu jalan di perkotaan (t_r bervariasi antara 14,0 dan 14,5 detik)

Dalam menghitung dan mengukur jarak penglihatan untuk berhenti, tinggi mata pengemudi diperkirakan 3,5 ft dan tinggi dari objek yang berbahaya yang dilihat oleh pengemudi adalah 2,0 ft, yang sama dengan tinggi lampu sen mobil penumpang.

4.1.3 Jarak Penglihatan untuk Mendahului di Jalan Dua-Lajur Pada kebanyakan jalan raya dua-lajur, dan dua-arah, kendaraan sering kali mendahului kendaraan yang bergerak lambat dengan menggunakan lajur lalu-lintas untuk arah yang berlawanan. Untuk dapat mendahului kendaraan lain dengan aman, pengemudi harus dapat melihat cukup jauh ke depan. Jarak penglihatan untuk mendahului ditentukan berdasarkan pemikiran bahwa pengemudi ingin mendahului satu kendaraan saja, meskipun mendahului lebih dari satu kendaraan masih dapat dilakukan.

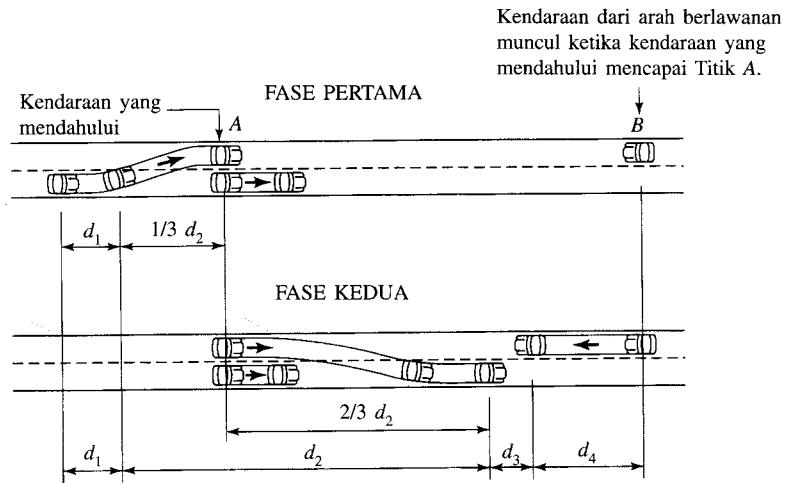
Berdasarkan pengamatan terhadap sifat lalu-lintas, dibuatlah beberapa asumsi sebagai berikut:

1. Kendaraan yang didahului berjalan dengan kecepatan seragam.
2. Kendaraan yang mendahului membuntuti kendaraan yang didahului ketika memasuki bagian depan jalan untuk mendahului.
3. Pada saat ingin mendahului, pengemudi membutuhkan waktu yang singkat untuk membaca bagian jalan yang dapat digunakan untuk mendahului, kapan tibanya saat itu, dan kapan memulai manuvernya.
4. Kendaraan yang mendahului mempercepat kendaraannya selama manuver, yaitu selama di lajur mendahului, sekitar 10 mil/jam lebih cepat dari kendaraan yang didahului.
5. Kendaraan yang mendahului harus memperhitungkan jarak antara kendaraan yang akan didahului dengan kendaraan yang datang dari arah berlawanan.

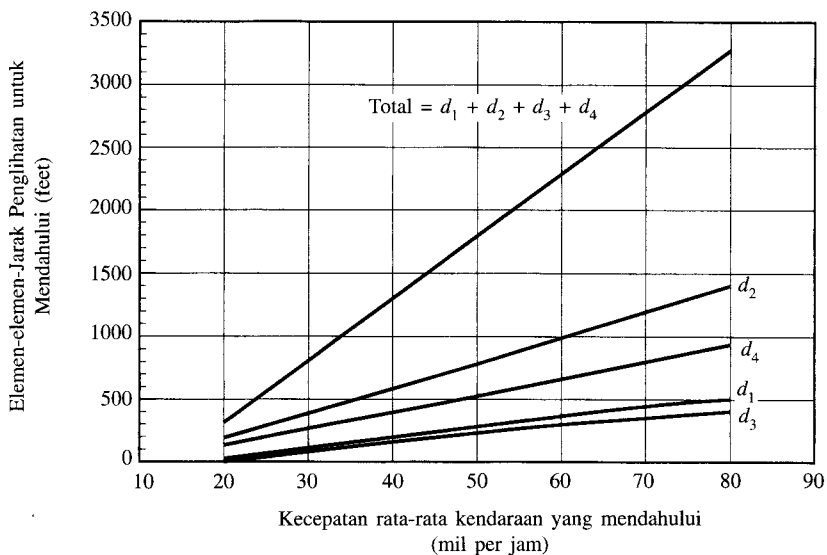
Jarak pandang minimum untuk mendahului pada jalan raya dua-lajur adalah jumlah keempat jarak yang diperlihatkan pada Gambar 6-5 dan 6-6.

d_1 = Jarak yang dilalui selama waktu persepsi dan reaksi, dan selama percepatan awal untuk mencapai titik di lajur sebelah kiri (lajur untuk mendahului)

d_2 = Jarak yang ditempuh ketika kendaraan yang mendahului menempati lajur kiri



Gambar 6-5 Elemen-elemen Jarak Penglihatan untuk Mendahului pada Jalan raya Dua-Lajur (AASHTO, 2001).



Gambar 6-6 Jarak Penglihatan Total untuk Mendahului dan Komponen-komponennya–Jalan raya Dua-Lajur (AASHTO, 2001).

- d_3 = Jarak antara kendaraan yang mendahului pada akhir melakukan manuvernya dengan kendaraan yang datang dari arah berlawanan
- d_4 = Jarak yang ditempuh oleh kendaraan yang berlawanan arah untuk dua per tiga waktu dari waktu ketika kendaraan yang mendahului menempati lajur kiri, atau dua per tiga dari d_2 .

Jarak-jarak penglihatan aman untuk mendahului pada berbagai rentang kecepatan ditentukan berdasarkan jarak dan nilai waktu yang diamati di lapangan, seperti dirangkum pada Tabel 6-6.

Tabel 6-6 Elemen-elemen Jarak Penglihatan untuk Mendahului yang Aman pada Desain Jalan raya Dua-lajur

Komponen untuk Manuver Mendahului	Rentang Kecepatan (mil per jam)			
	30–40	40–50	50–60	60–70
	Kecepatan Rata-rata untuk Mendahului (mil per jam)			
	34,9	43,8	52,6	62,0
Laju Awal:				
a = percepatan rata-rata ^a	1,40	1,43	1,47	1,50
t_1 = waktu (detik) ^a	3,6	4,0	4,3	4,5
d_1 = jarak tempuh	145	216	289	366
Penempatan jalur kiri:				
t_2 = waktu (detik) ^a	9,3	10,0	10,7	11,3
d_2 = jarak tempuh	477	643	827	1030
Panjang clearance:				
d_3 = jarak tempuh ^a	100	180	250	300
Kendaraan dari arah berlawanan:				
d_4 = jarak tempuh	318	429	552	687
Jarak total, $d_1 + d_2 + d_3 + d_4$	1040	1468	1918	2383

^aUntuk hubungan kecepatan yang konsisten, nilai hasil pengamatan sedikit disesuaikan.

Catatan: Nilai kecepatan dalam mil/jam, tingkat percepatan dalam mil/jam/detik, dan jarak dalam feet.

Sumber: AASHTO, 2001

Secara umum,

$$d_1 = 1,47t_1 \left[V - m + \frac{at_1}{2} \right] \quad (5)$$

$$d_2 = 1,47t_2 \quad (6)$$

$$d_3 = \text{bervariasi dari 100 sampai 300 feet}$$

$$d_4 = \frac{2 d_2}{3} \quad (7)$$

di mana

t_1 = waktu manuver-awal (detik)

t_2 = waktu kendaraan yang mendahului menempati lajur kiri (detik)

V = kecepatan rata-rata dari kendaraan yang mendahului

m = perbedaan kecepatan antara kendaraan yang didahului dan kendaraan yang mendahului (mil/jam)

Tabel 6-7 menunjukkan kecepatan untuk mendahului pada jalan raya dua-lajur.

4.1.4 Ketinggian Mata Pengemudi dan Ketinggian Objek Jarak di sepanjang suatu jalan raya sedemikian rupa sehingga sebuah objek dengan ketinggian tertentu terlihat terus-menerus oleh pengemudi disebut jarak penglihatan. Jarak ini bergantung pada beberapa faktor, antara lain ketinggian mata pengemudi di atas permukaan jalan, ketinggian objek tertentu di atas permukaan jalan, dan ketinggian dari penghalang di dalam jarak penglihatan tersebut.

Untuk semua perhitungan jarak penglihatan, tinggi mata pengemudi diasumsikan 3,5 feet di atas permukaan jalan, baik untuk jarak berhenti maupun jarak penglihatan untuk mendahului. Sedangkan ketinggian objek ditentukan sebesar 2,0 feet di atas permukaan jalan untuk perhitungan jarak penglihatan berhenti, dan 3,5 feet untuk perhitungan jarak penglihatan untuk

Tabel 6-7 Jarak Penglihatan untuk Mendahului pada Desain Jalan raya Dua-Lajur

Kecepatan desain (mil/jam)	Kecepatan yang Diasumsikan (mil/jam)		Jarak Penglihatan untuk Mendahului (kaki)	
	Kendaraan yang Didahului	Kendaraan yang Mendahului	Dari Gambar 6-6	Pembulatan untuk Desain
20	18	28	706	710
25	22	32	897	900
30	26	36	1088	1090
35	30	40	1279	1280
40	34	44	1470	1470
45	37	47	1625	1625
50	41	51	1832	1835
55	44	54	1984	1985
60	47	57	2133	2135
65	50	60	2281	2285
70	54	64	2479	2480
75	56	66	2578	2580
80	58	68	2677	2680

Sumber: AASHTO, 2001

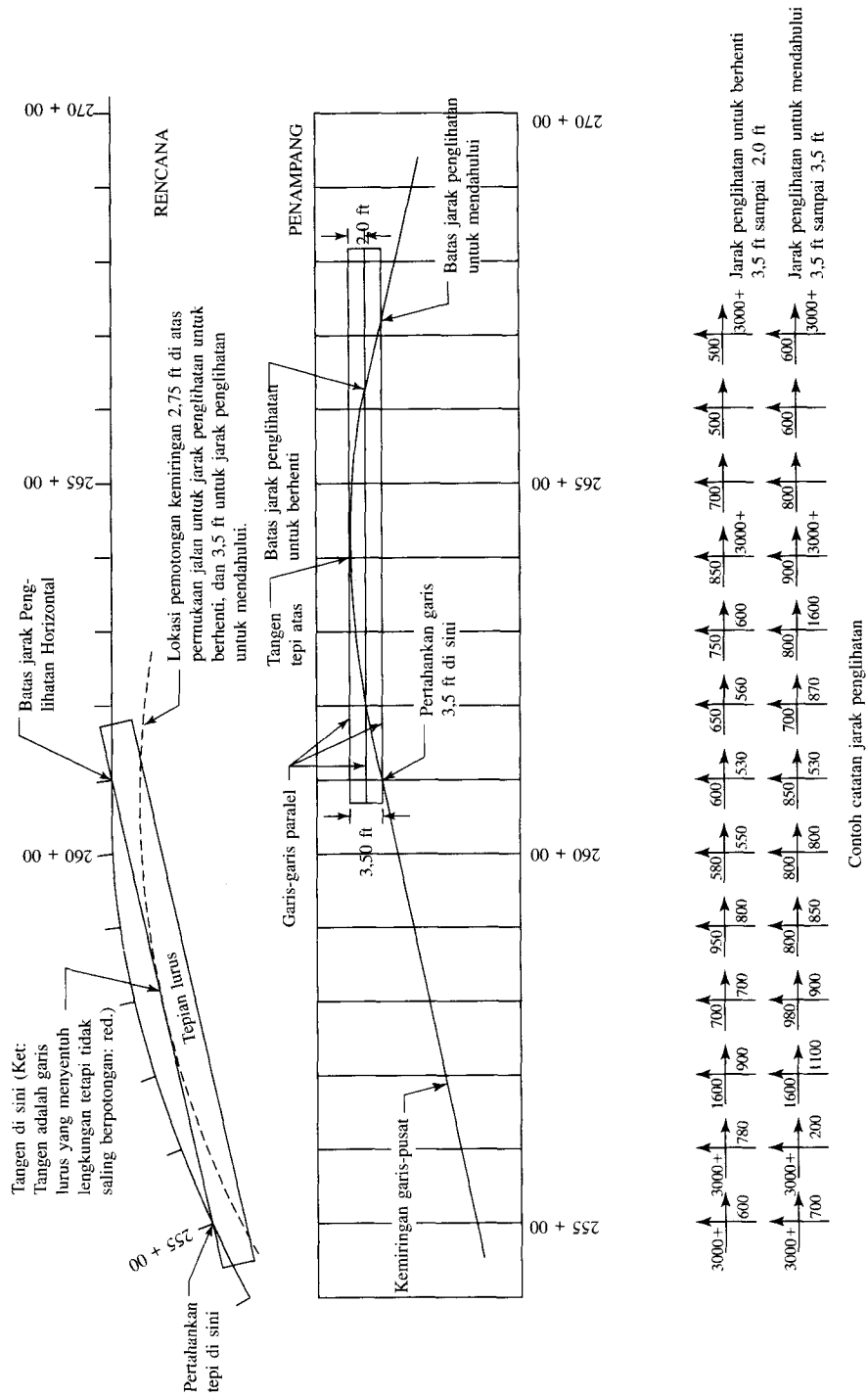
mendahului. Pemilihan nilai 2,0 feet sebagai ketinggian objek untuk jarak penglihatan berhenti ini berbeda jauh dari nilai 6 inci yang disarankan sebelumnya. Petunjuk baru (AASHTO, 2001) ini didasarkan pada rasionalisasi ukuran objek yang mungkin terdapat di jalan dan kemampuan pengemudi untuk menerima dan bereaksi pada situasi tersebut. Menggunakan ketinggian objek kurang dari 2,0 feet, yang sama dengan tinggi lampu sen kendaraan, dapat secara substansial meningkatkan biaya konstruksi; selain itu, pada kecepatan tinggi kebanyakan pengemudi memiliki keterbatasan untuk melihat objek yang kecil. Ketinggian objek 3,5 feet untuk jarak penglihatan untuk mendahului didasarkan pada tinggi kendaraan 4,35, feet yang mewakili persentil ke-15 dari populasi kendaraan penumpang. Ini kemudian dikurangi lagi sebesar 0,82 feet, sebuah nilai mendekati maksimum dari kendaraan berlawanan-arrah agar dapat dilihat oleh pengemudi lainnya (AASHTO, 2001).

Gangguan-gangguan di jalan raya yang seringkali menghalangi pengemudi untuk melihat objek adalah titik-titik (yang menunjukkan permukaan perkerasan) pada suatu lengkungan vertikal puncak. Pada lengkungan horizontal, penghalang dapat berupa lengkungan vertikal puncak/cembung (*crest vertical curve*) atau fitur-fitur fisik di luar jalan, seperti suatu penghalang longitudinal atau cekungan dari bagian jalan yang terpotong. Seluruh rencana konstruksi jalan raya harus diperiksa baik permukaan vertikal maupun horizontalnya untuk mencari gangguan jarak penglihatan. Metode untuk menentukan skala jarak penglihatan diperlihatkan pada Gambar 6-7. Suatu catatan jarak penglihatan tipikal diperlihatkan di bawah gambar ini.

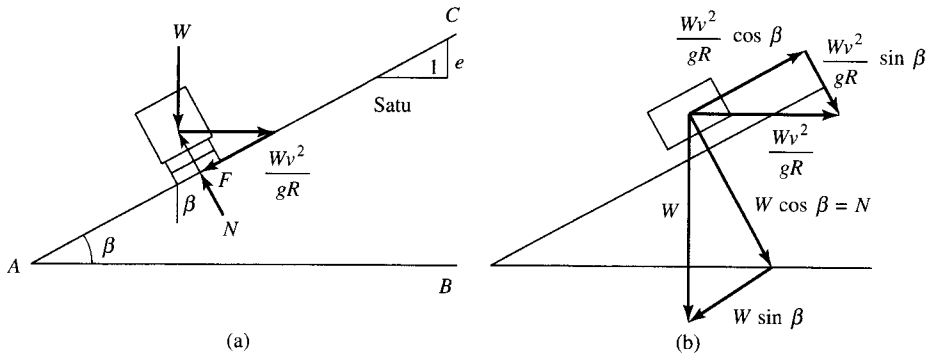
4.2 Alinyemen Horizontal

Alinyemen horizontal terdiri dari sejumlah bagian lurus pada jalan raya yang dihubungkan oleh lengkungan yang sesuai. Adalah suatu hal yang penting untuk menentukan hubungan yang tepat antara kecepatan desain dan kelengkungan desain, dan juga hubungan antara superelevasi dan gesekan samping.

Baik radius maupun derajat lengkungan kedua-duanya bisa menjelaskan lengkungan horizontal. Derajat lengkungan adalah sudut pusat yang dibentuk oleh sebuah busur sepanjang 100 feet yang diukur pada pusat jalan.



Gambar 6-7 Penentuan Skala dan Pencatatan Jarak Penglihatan dalam Perencanaan (AASHTO, 2001).



Gambar 6-8 Teori Superelevasi.

4.2.1 Superelevasi Sebuah kendaraan terkena gaya ke arah luar secara radial oleh gaya sentrifugal ketika kendaraan tersebut bergerak dalam jalur melingkar. Komponen berat kendaraan membentuk gesekan samping antara permukaan jalan dan ban untuk mengimbangi gaya sentrifugal ini. Bagian yang disuperelevasikan pada suatu jalan raya akan mengurangi kecenderungan kendaraan untuk tergelincir ke arah luar. Lihat Gambar 6-8,

di mana,

W = berat kendaraan

β = sudut kemiringan perkerasan

e = tingkat superelevasi = $\tan \beta$

$$F = \text{gesekan samping} = \mu N = \mu W \cos \beta + \mu \frac{Wv^2}{gR} \sin \beta,$$

di mana μ adalah faktor gesekan samping, tetapi karena $\sin \beta$ nilainya kecil, maka rumus kedua dapat diabaikan.

$$g = 32,2 \text{ kaki/detik}^2 \text{ atau } 9,81 \text{ m/detik}^2.$$

$$v = \text{kecepatan longitudinal (ft/detik)}$$

Ketika seluruh gaya yang bekerja pada kendaraan mencapai keseimbangan,

$$W \sin \beta + F = \frac{Wv^2}{gR} \cos \beta$$

$$\therefore W \sin \beta + \mu W \cos \beta = \frac{Wv^2}{gR} \cos \beta \quad (8)$$

Membagi dengan $W \cos \beta$, kita memperoleh:

$$\tan \beta + \mu = \frac{v^2}{gR} \text{ atau } e + \mu = \frac{v^2}{gR}$$

Mengganti v ft/detik dengan V mil/jam, dan karena F dapat ditempatkan di bagian kiri dan kanan persamaan, maka kita peroleh

$$e \pm \mu = \frac{V^2}{15 R} \quad (9)$$

di mana

R = radius lengkungan (feet)

V = kecepatan kendaraan (mil/jam)

Terdapat batas praktis tertentu untuk tingkat superelevasi, bergantung pada kenyamanan dan keterbatasan fisik pengemudi, seperti adanya lapisan es atau salju yang menutupi permukaan jalan. Jika tingkat superelevasi jauh di atas yang dibutuhkan untuk kecepatan normal, mengarahkan atau menyetir kendaraan menjadi relatif lebih sulit.

Koefisien gesekan samping dapat dinyatakan dengan:

$$\mu = \frac{V^2}{15 R} - e \quad (10)$$

Nilai μ harus cukup lebih kecil daripada koefisien gesekan decit, karena faktor keselamatan tetap perlu diperhatikan. Pengamatan memperlihatkan bahwa gesekan samping maksimum antara ban baru dan perkerasan beton basah berkisar antara 0,5 pada kecepatan 20 mil/jam sampai kira-kira 0,35 pada kecepatan 60 mil/jam. Untuk kondisi-kondisi normal, basah, perkerasan beton, dan ban gundul, nilainya sekitar 0,35 pada kecepatan 45 mil/jam. Kendatipun demikian, desain lengkungan atau lengkungan jalan tidak dapat tergantung sepenuhnya pada faktor gesekan jalan. Suatu kriteria penting adalah menggunakan gesekan samping maksimum yang tersedia agar pengemudi merasa aman dan nyaman. Untuk kecepatan hingga 60 mil/jam, nilai maksimum yang disarankan adalah 0,16. Faktor gesekan samping seharusnya tidak lebih dari 0,1 untuk kecepatan 70 mil/jam atau lebih. Pada kecepatan yang lebih rendah, pengemudi lebih toleran terhadap ketidaknyamanan, sehingga nilai yang lebih besar dapat digunakan dalam desain.

Ada beberapa faktor yang menentukan tingkat maksimum superelevasi: kondisi cuaca, permukaan/medan jalan, lokasi (kota atau luar kota), dan frekuensi kendaraan yang bergerak sangat lamban. Tidak ada satu pun tingkat superelevasi maksimum yang dapat digunakan secara universal. Tingkat superelevasi yang umum digunakan adalah 0,1, di daerah yang tidak ada salju dan es. Di daerah di mana salju dan es adalah faktor yang harus diperhitungkan, tingkat superelevasi 0,08 adalah nilai maksimum yang logis untuk mengurangi gelincir di jalan raya. Nilai 0,20 dapat digunakan pada jalan bervolume-rendah dari batu kerikil untuk mempermudah drainase air. Tingkat maksimum yang rendah biasanya 0,04 sampai 0,06, biasa digunakan di mana kemacetan atau banyaknya proyek pembangunan di pinggir kota menjadi pengendali kecepatan. Tabel 6-8 memperlihatkan radius minimum untuk kelima tingkat superelevasi maksimum untuk kecepatan desain dari 15 sampai 80 mil/jam. Kecepatan yang relatif tinggi dan seragam umum terdapat di jalan raya di daerah luar kota, jalan-jalan tol di kota, serta jalan-jalan dalam kota. Pada situasi tersebut, lengkungan horizontal biasanya disuperelevasikan dan lengkungan-lengkungan sesudahnya diseimbangkan untuk menyediakan pergerakan berkendara yang lancar bagi pengemudi. Desain yang seimbang memungkinkan tersedianya suatu distribusi antara e dan μ untuk sejumlah lengkungan dengan radius dan tingkat superelevasi yang bervariasi dalam rentang kemiringan normal dan nilai maksimum.

Berbagai metode dilakukan untuk menyeimbangkan e dan μ . Salah satunya menggunakan superelevasi pada kecepatan yang lebih rendah daripada kecepatan desain. Kecepatan laju rata-rata, yang diperkirakan 80 sampai 100% dari kecepatan desain, menyediakan desain superelevasi di mana seluruh percepatan lateral dijaga lewat proses superelevasi lengkungan yang lebih datar daripada yang membutuhkan tingkat maksimum. Superelevasi maksimum akan dicapai di dekat titik tengah dari rentang lengkungan. Pada kecepatan laju (*running*

Tabel 6-8 Radius Minimum untuk Desain Jalan raya di Luar Kota, Jalan Tol Kota, dan Jalan Kota Kecepatan-Tinggi Menggunakan Nilai-nilai Batas dari e dan μ .

Kecepatan Desain (mil/jam)	Maksimum e (%)	Batas Nilai μ	Total ($e/100 + \mu$)	Perhitungan Radius (ft)	Pembulatan Radius (ft)
15	4,0	0,175	0,215	70,0	70
20	4,0	0,170	0,210	127,4	125
25	4,0	0,165	0,205	203,9	205
30	4,0	0,160	0,200	301,0	300
35	4,0	0,155	0,195	420,2	420
40	4,0	0,150	0,190	563,3	565
45	4,0	0,145	0,185	732,2	730
50	4,0	0,140	0,180	929,0	930
55	4,0	0,130	0,170	1190,2	1190
60	4,0	0,120	0,160	1505,0	1505
15	6,0	0,175	0,235	64,0	65
20	6,0	0,170	0,230	116,3	115
25	6,0	0,165	0,225	185,8	185
30	6,0	0,160	0,220	273,6	275
35	6,0	0,155	0,215	381,1	380
40	6,0	0,150	0,210	509,6	510
45	6,0	0,145	0,205	660,7	660
50	6,0	0,140	0,200	836,1	835
55	6,0	0,130	0,190	1065,0	1065
60	6,0	0,120	0,180	1337,8	1340
65	6,0	0,110	0,170	1662,4	1660
70	6,0	0,100	0,160	2048,5	2050
75	6,0	0,090	0,150	2508,4	2510
80	6,0	0,080	0,140	3057,8	3060
15	8,0	0,175	0,255	59,0	60
20	8,0	0,170	0,250	107,0	105
25	8,0	0,165	0,245	170,8	170
30	8,0	0,160	0,240	250,8	250
35	8,0	0,155	0,235	348,7	350
40	8,0	0,150	0,230	465,3	465
45	8,0	0,145	0,225	502,0	500
50	8,0	0,140	0,220	760,1	760
55	8,0	0,130	0,210	963,5	965
60	8,0	0,120	0,200	1204,0	1205
65	8,0	0,110	0,190	1487,4	1485
70	8,0	0,100	0,180	1820,9	1820
75	8,0	0,090	0,170	2213,3	2215
80	8,0	0,080	0,160	2675,6	2675
15	10,0	0,175	0,275	54,7	55
20	10,0	0,170	0,270	99,1	100
25	10,0	0,165	0,265	157,8	160
30	10,0	0,160	0,280	231,5	230
35	10,0	0,155	0,255	321,3	320
40	10,0	0,150	0,250	428,1	430
45	10,0	0,145	0,245	552,9	555
50	10,0	0,140	0,240	696,8	695
55	10,0	0,130	0,230	879,7	880
60	10,0	0,120	0,220	1094,6	1095
65	10,0	0,110	0,210	1345,8	1345
70	10,0	0,100	0,200	1838,8	1840
75	10,0	0,090	0,190	1980,3	1980
80	10,0	0,080	0,180	2378,3	2380
15	12,0	0,175	0,295	51,0	50
20	12,0	0,170	0,290	92,3	90
25	12,0	0,165	0,285	146,7	145
30	12,0	0,160	0,280	215,0	215
35	12,0	0,155	0,275	298,0	300
40	12,0	0,150	0,270	396,4	395
45	12,0	0,145	0,265	511,1	510
50	12,0	0,140	0,260	643,2	645
55	12,0	0,130	0,250	809,4	810
60	12,0	0,120	0,240	1003,4	1005
65	12,0	0,110	0,230	1228,7	1230
70	12,0	0,100	0,220	1489,8	1490
75	12,0	0,090	0,210	1791,7	1790
80	12,0	0,080	0,200	2140,5	2140

Catatan: Dalam kaitannya dengan masalah keselamatan, penggunaan $e_{\max} = 4,0\%$ harus dibatasi hanya pada kondisi perkotaan.
 Sumber: AASHTO, 2001.

speed) rata-rata, tidak ada gesekan samping yang dibutuhkan hingga pada lengkungan ini, dan gesekan samping meningkat secara cepat dan lebih cepat lagi untuk lengkungan yang lebih tajam. Gesekan samping yang cukup besar tersedia untuk kecepatan yang lebih tinggi. Sebuah metode lain untuk mempertahankan percepatan sentripetal pada lengkungan akan menjaga superelevasi dan gesekan samping tetap berbanding lurus terhadap kebalikan dari radius lengkungan. Penerapan metode ini menghindarkan digunakannya superelevasi maksimum untuk banyak bagian dari daerah radius-radius lengkungan. Masih lebih baik apabila digunakan penyebaran superelevasi dan gesekan-samping secara wajar dengan tetap menjaga kelebihan dari setiap metode (AASHTO, 2001).

Contoh 3

Tentukan tingkat superelevasi yang sesuai untuk suatu jalan bervolume-rendah dengan permukaan kerikil yang memiliki kecepatan desain 50 mil/jam dan derajat lengkungan adalah 8 derajat.

Jawaban

Asumsi: koefisien gesekan samping, $\mu = 0,14$ (pada kecepatan 50 mil/jam).

Perhitungan: Karena

$$\frac{2\pi R}{360} = \frac{100}{D}$$

Maka

$$R = \frac{36.000}{2\pi D} = \frac{36.000}{2\pi \times 8} = 716,2 \text{ feet}$$

Selain itu,

$$e = \mu = \frac{V^2}{15 R}$$

Dengan demikian,

$$e = \frac{V^2}{15 R} - \mu = \frac{50^2}{15(716,2)} - 0,14 = 0,09$$

Pembahasan

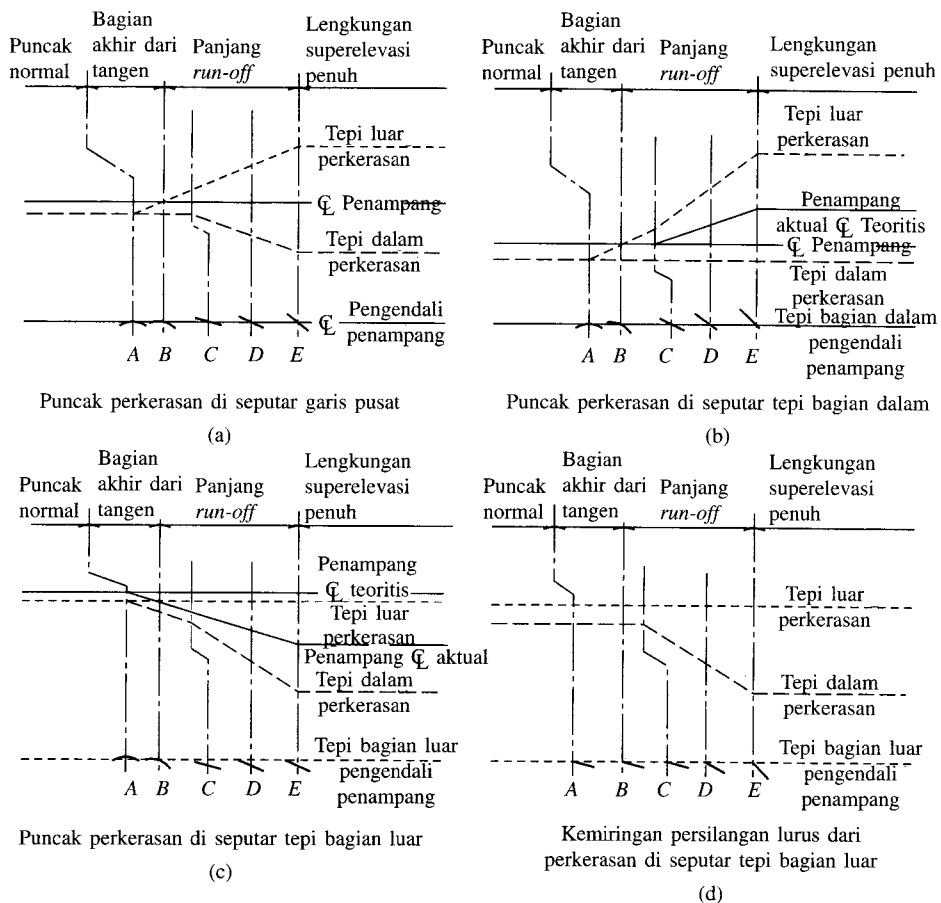
Untuk mempermudah drainase air, tingkat superelevasi yang biasa digunakan adalah 0,12. Dengan demikian, $e = 0,12$ dapat disarankan. Tetapi, menyarankan superelevasi sebesar ini dapat mengarah kepada kecepatan yang lebih tinggi dan menimbulkan masalah jalan yang anjlok dan terbongkarnya kerikil jalan. Sehingga nilai 0,09 dapat dianggap sebagai nilai maksimum yang paling wajar.

4.2.2 Lengkungan Transisi (Spiral) Ketika kendaraan memasuki atau meninggalkan lengkungan horizontal melingkar, maka penambahan atau pengurangan gaya sentrifugal tidak dapat tercapai langsung, karena faktor keselamatan dan kenyamanan. Dalam kasus ini, menyisipkan lengkungan transisi di antara tangen dan lengkungan melingkar memerlukan pertimbangan. Lengkungan transisi yang dirancang dengan baik mempunyai keuntungan sebagai berikut:

- Sebuah rute yang alamiah dan mudah diikuti oleh pengemudi sedemikian rupa sehingga gaya sentrifugal meningkat atau berkurang secara bertahap seiring kendaraan memasuki dan meninggalkan lengkungan melingkar.
- *Runoff* superelevasi dapat diatur sesuai keinginan dan lebih mudah
- Fleksibilitas dalam pelebaran lengkungan tajam
- Tampilan jalan raya yang lebih baik

Persamaan dasar untuk menghitung panjang minimum dari suatu spiral adalah

$$L = \frac{3,15 V^3}{RC} \quad (11)$$



Catatan: Kelokan menyudut dibuatkan seperlunya sebagaimana ditunjukkan oleh titik-titik.

Gambar 6-9 Metode untuk Mencapai Superelevasi (AASHTO, 2001).

di mana

L = panjang minimum spiral (ft)

V = kecepatan (mil/jam)

R = radius lengkungan (ft)

C = tingkat pertambahan percepatan sentrifugal (ft/detik³)

Nilai untuk C yang berkisar antara 1 sampai 3 adalah nilai yang digunakan dalam desain jalan raya. Pengendalian praktis untuk panjang spiral adalah ketika panjang spiral sama dengan panjang yang dibutuhkan untuk *runoff* superelevasi.

Perubahan kemiringan sudut perkerasan dapat dilakukan dengan memutar perkerasan (1) di sekitar garis pusat dan (2) di sekitar tepi bagian dalam dan luar. Gambar 6-9 memperlihatkan dua kasus tersebut. Di dalam desain jalan, jalan raya, dan tempat parkir yang dibagi, penambahan median pada penampang melintangnya akan sedikit mengubah penanganan terhadap runoff superelevasi.

4.2.3 Jarak Penglihatan pada Lengkungan Horizontal Ketika penglihatan pada bagian dalam lengkungan horizontal terhalang oleh objek-objek seperti dinding, kemiringan permukaan yang terpotong bangunan, dan pohon, maka jarak penglihatan yang memadai harus disediakan. Penyediaan ini bisa saja membutuhkan penyesuaian dalam mengatur alinyemen jalan. Studi khusus dibutuhkan dalam tiap kasus karena banyaknya variabel yang terlibat. Para insinyur disarankan untuk memeriksa kondisi aktual dengan menggunakan suatu kecepatan desain dan memilih jarak penglihatan sebagai alat pengendalian.

Untuk tujuan desain, garis penglihatan adalah tali busur dari lengkungan, dan jarak penglihatan berhenti yang digunakan diukur di sepanjang garis pusat dari lajur bagian dalam mengelilingi lengkungan. Diagram desain pada Gambar 6-10 memperlihatkan ordinat tengah yang dibutuhkan untuk daerah penglihatan yang jelas guna memenuhi jarak penglihatan untuk berhenti yang dibutuhkan, seperti yang diperlihatkan pada Tabel 6-4 untuk lengkungan dengan bermacam tingkat.

Hubungan antara radius lengkungan, R (ft); derajat lengkungan, D ; jarak penglihatan untuk berhenti, S (ft); dan ordinat tengah, M (ft), dinyatakan sebagai berikut:

$$M = \frac{5730}{D} \left(1 - \cos \frac{SD}{200} \right) \quad (12)$$

Karena

$$R = \frac{5730}{D} \quad \text{dan} \quad \theta = \frac{SD}{200} \quad (13)$$

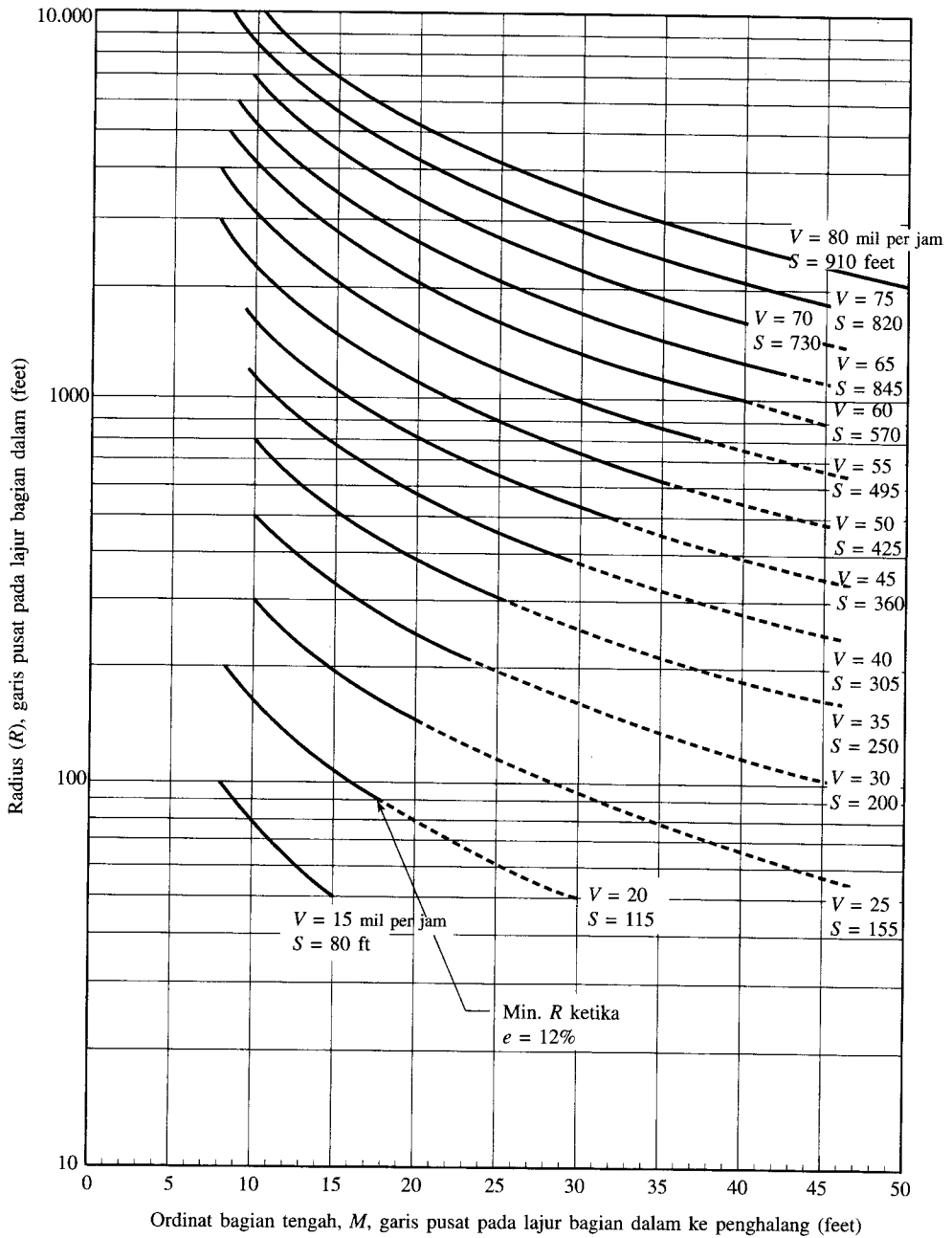
Dengan demikian,

$$M = R (1 - \cos \theta) \quad (14)$$

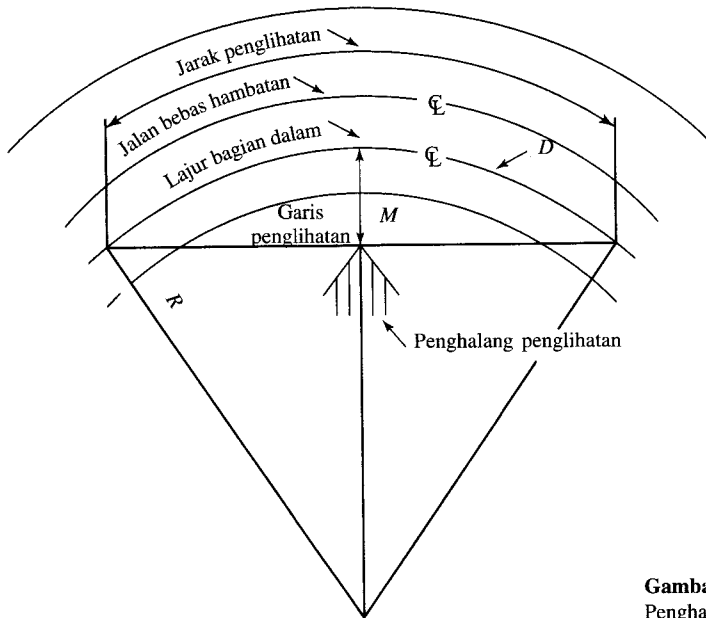
$$M = R \left(1 - \cos \frac{28,65S}{R} \right) \quad (15)$$

Hubungan antara radius lengkungan P ; panjang garis, L ; dan ordinat tengah, M , dinyatakan sebagai berikut (Gambar 6-11):

$$R^2 = (R - M)^2 + \left(\frac{L}{2} \right)^2 \quad (16)$$



Gambar 6-10 Pengendalian Desain untuk Jarak Penglihatan Berhenti pada Lengkungan Horizontal (AASHTO, 2001).



Gambar 6-11 Garis Penglihatan dan Penghalang Penglihatan.

atau

$$R = \frac{M}{2} + \frac{L^2}{8M} \quad (17)$$

Contoh 4

Sudut sebuah bangunan terletak di sebelah suatu lengkungan horizontal beradius 132 feet pada jalan raya di daerah luar kota. Lebar lajur bagian dalam adalah 10 feet dan tepi bagian dalam adalah 6 feet dari sudut bangunan. Tentukan berapakah batas kecepatan yang harus ditetapkan pada bagian jalan raya ini?

Jawaban

Asumsi: Lebar bahu jalan (jarak dari tepi bagian dalam lajur ke tepi jalan) adalah 4 feet, koefisien gesekan adalah 0,4, dan waktu reaksi pengemudi, t_r , adalah 2,5 detik.

Perhitungan:

$$\text{Radius dari lajur bagian dalam} = 132 - \frac{10}{2} = 127 \text{ feet}$$

$$\text{Ordinat tengah, } M = 6 + 4 + 5 = 15 \text{ feet}$$

$$D = \frac{5729,58}{R} = \frac{5729,58}{127} = 45^\circ$$

Selain itu,

$$M = R \left(1 - \cos \frac{SD}{200} \right)$$

di mana S adalah jarak penglihatan untuk berhenti. Dengan demikian,

$$S = \frac{200}{D} \cos^{-1} \left(1 - \frac{M}{R} \right) = \frac{200}{45} \cos^{-1} \left(1 - \frac{15}{127} \right) \\ = 125 \text{ feet.}$$

Selain itu, jarak untuk berhenti pada jalan yang rata dinyatakan dengan

$$S = 1,075 \frac{V^2}{a} + 1,47Vt_r \\ 125 = 1,075 \frac{V^2}{11,2} + 1,47V(2,5) \\ V^2 + 38,29V - 1302,33 = 0$$

Dengan demikian $V = 21,71$ kira-kira 22 mil/jam. Hasil ini juga dapat diperiksa dengan menggunakan Gambar 6-10: Dengan menggunakan $M = 15$ feet dan radius dari lajur bagian dalam adalah 127 feet, kita mendapatkan $V = 22$ mil/jam dan $S = 125$ feet.

Pembahasan

Grafik-grafik desain dapat digunakan untuk mengubah-ubah kondisi lokasi. Kecepatan yang diperoleh dari grafik harus diperiksa untuk mendapatkan jarak penglihatan berhenti yang memadai.

Jarak penglihatan minimum untuk mendahului pada jalan dua-jalur mempunyai nilai kira-kira 4 kali lebih besar dari jarak penglihatan minimum untuk berhenti pada kecepatan yang sama. Jarak penglihatan untuk mendahului diukur di antara tinggi mata sebesar 3,5 feet dan tinggi objek 3,5 feet. Garis penglihatan dekat pusat dari bagian dalam daerah lengkungan sekitar 0,75 feet lebih tinggi dari jarak penglihatan untuk berhenti. Resultan dimensi lateral untuk penampang melintang jalan raya normal dipotong di antara garis pusat dari lajur bagian dalam, dan titik tengah garis penglihatan adalah dari 1,5 sampai 4,5 feet lebih besar dari jarak penglihatan untuk berhenti. Secara alamiah, untuk tujuan praktis bagian jarak penglihatan untuk mendahului harus tertutup ke arah tangen dan memiliki kondisi pengarahan yang sangat datar. Metode grafik sangat berguna untuk memeriksa kondisi ini.

4.3 Alinyemen Vertikal

4.3.1 Kemiringan (*grade*-kelandaian) Alinyemen jalan dipengaruhi oleh topografi lahan yang dilalui. Karena tujuannya adalah agar kendaraan bisa beroperasi secara seragam, maka perlu disediakan kemiringan dan lengkungan-vertikal yang tepat. Kendaraan penumpang dengan mudah dapat menyesuaikan diri dengan kemiringan 4 sampai 5 derajat tanpa kehilangan kecepatan. Kecepatan berkurang secara signifikan dengan peningkatan kemiringan jalan. Kecepatan kendaraan penumpang biasanya lebih tinggi pada saat menuruni jalan miring dibandingkan berjalan di atas permukaan rata. Kecepatan truk, sebaliknya sangat dipengaruhi oleh kemiringan. Tetapi pada jalan yang rata, kecepatan truk kurang lebih sama dengan kecepatan mobil penumpang.

Pada jalan menurun, kecepatan truk meningkat sekitar 5% dan menurun sekitar 7% atau lebih pada saat menanjak jika dibandingkan dengan berjalan di permukaan yang rata. Tabel dari AASHTO, 2001 menyediakan pengendalian kemiringan maksimum yang digunakan dalam desain kecepatan, sebagai berikut:

Tabel 6-9 Kemiringan Maksimum (%) untuk Jalan di Luar Kota

Jenis Permukaan	Kemiringan Maksimum (%) untuk Kecepatan Desain Khusus (mil/jam)								
	15	20	25	30	40	45	50	55	60
Rata	9	8	7	7	7	7	6	6	5
Bergelombang	12	11	11	10	10	9	8	7	6
Pegunungan	17	16	15	14	13	12	10	10	–

Sumber: AASHTO, 2001.

Tabel 6-10 Kemiringan Maksimum (%) untuk Jalan di Daerah Rekreasi

Jenis Permukaan	Kemiringan Maksimum (%) untuk Kecepatan Desain Khusus (mil/jam)				
	10	20	25	30	40
Rata	8	8	7	7	7
Bergelombang	12	11	10	10	9
Pegunungan	18	16	15	14	12

Sumber: AASHTO, 2001.

Jalan di daerah luar kota: Tabel 6-9

Jalan di daerah rekreasi: Tabel 6-10

Jalan di zona pengumpul di perkotaan dan di luar kota: Tabel 6-11

Jalan arteri di luar kota: Tabel 6-12

Jalan arteri di perkotaan: Tabel 6-13

Jalan tol di perkotaan dan di luar kota: Tabel 6-14

Kemiringan maksimum sekitar 5% adalah kemiringan yang sesuai untuk kecepatan desain 70 mil/jam. Untuk kecepatan desain 30 mil/jam, kemiringan maksimum umumnya berkisar dari 7 sampai 12%, tergantung pada kondisi topografi, dengan rata-rata kemiringan sekitar 8%. Sedangkan untuk kecepatan 40, 50, dan 60 mil/jam, kemiringannya mempunyai kisaran di antara kemiringan yang disebutkan sebelumnya. Disarankan bahwa desain kemiringan maksimum sebaiknya jarang digunakan sebagai nilai yang biasa digunakan untuk kebanyakan kasus.

Kemiringan maksimum itu sendiri bukanlah alat pengendalian desain yang menyeluruh. Panjang salah satu kemiringan harus diperhitungkan pula. Panjang maksimum dari suatu desain tanjakan, disebut panjang kritis, adalah suatu jarak di mana sebuah truk dengan muatan dapat beroperasi tanpa mengurangi kecepatan. Jika operasi yang efisien hendak dipertahankan, maka diperlukan penyesuaian desain, seperti perubahan lokasi untuk mengurangi kemiringan atau penambahan lajur jalan.

Hasil pengamatan menunjukkan bahwa berapapun kecepatan rata-rata di jalan raya, semakin jauh sebuah kendaraan melakukan penyimpangan dari kecepatan rata-ratanya, semakin besar pula peluang terjadinya kecelakaan. Gambar 6-12 memperlihatkan hasil dari pengamatan tersebut.

Dasar umum yang digunakan untuk menentukan panjang kritis dari kemiringan adalah pengurangan kecepatan truk di bawah kecepatan rata-rata. Tentunya, kasus yang ideal adalah apabila seluruh lalu-lintas beroperasi pada kecepatan ini, tetapi hal ini tidak praktis. Suatu pengamatan pada Gambar 6-12 memperlihatkan bahwa tingkat kecelakaan meningkat secara signifikan ketika pengurangan kecepatan truk melebihi 10 mil/jam. Berdasarkan pengamatan ini, disarankan agar kriteria pengurangan 10 mil/jam digunakan sebagai petunjuk desain umum untuk menentukan panjang-panjang kritis kemiringan.

Tabel 6-11 Kemiringan Maksimum (%) untuk Jalan Zona Pengumpul^a di Dalam dan Luar Kota

Jenis Permukaan	Kemiringan Maksimum (%) untuk Kecepatan Desain Khusus (mil/jam)								
	20	25	30	35	40	45	50	55	60
Jalan Zona Pengumpul di Luar Kota									
Rata	7	7	7	7	7	7	6	6	5
Bergelombang	10	10	9	9	8	8	7	7	6
Pegunungan	12	11	10	10	10	10	9	9	8
Jalan Zona Pengumpul di Perkotaan									
Rata	9	9	9	9	9	8	7	7	6
Bergelombang	12	12	11	10	10	9	8	8	7
Pegunungan	14	13	12	12	12	11	10	10	9

^aKemiringan maksimum diperlihatkan untuk kondisi luar kota dan perkotaan untuk jarak pendek (kurang dari 500 feet); pada jalan menurun satu-arah dan pada jalan bervolume rendah bisa menjadi 2% lebih tajam.

Sumber: AASHTO, 2001.

Tabel 6-12 Kemiringan Maksimum (%) untuk Jalan Arteri di Luar Kota

Jenis Permukaan	Kemiringan Maksimum (%) untuk Kecepatan Desain Khusus (mil/jam)								
	40	45	50	55	60	65	70	75	80
Rata	5	5	4	4	3	3	3	3	3
Bergelombang	6	6	5	5	4	4	4	4	4
Pegunungan	8	7	7	6	6	5	5	5	5

Sumber: AASHTO, 2001.

Panjang dari kemiringan yang akan mengakibatkan kecepatan truk (200 lb/hp) ketika memasuki kemiringan pada kecepatan 70 mil/jam dikurangi sampai di bawah kecepatan rata-rata dari seluruh lalu-lintas diperlihatkan pada Gambar 6-13. Lengkungan yang memperlihatkan penurunan kecepatan 10 mil/jam adalah kemiringan desain umum untuk menentukan panjang kemiringan kritis.

Contoh 5

Berapakah panjang kritis dari suatu kemiringan jalan raya dengan kecepatan desain 70 mil/jam dan kemiringan tanjakan 4%?

Jawaban

Jika kita mengikuti kurva pengurangan kecepatan 10 mil/jam yang diperlihatkan pada Gambar 6-13, kurva akan memotong garis tanjakan 4% pada 1.250 feet. Artinya panjang kemiringan kritis maksimum yang harus diberikan adalah 1.250 feet.

Pembahasan

Perhitungan ini dapat diterima karena ketika truk mendekati tanjakan, seringkali pengemudi menambah kecepatan agar dapat menaiki tanjakan pada kecepatan yang setinggi mungkin.

4.3.2 Lajur Tanjakan Lajur tambahan—yang disebut lajur tanjakan pada suatu jalan raya dua-lajur yang miring—akan dibutuhkan di tempat di mana panjang kemiringan meng-

Tabel 6-13 Kemiringan Maksimum (%) untuk Jalan Arteri di Perkotaan

Jenis Permukaan	Kemiringan Maksimum (%) untuk Kecepatan Desain Khusus (mil/jam)						
	30	35	40	45	50	55	60
Rata	8	7	7	6	6	5	5
Bergelombang	9	8	8	7	7	6	6
Pegunungan	11	10	10	9	9	8	8

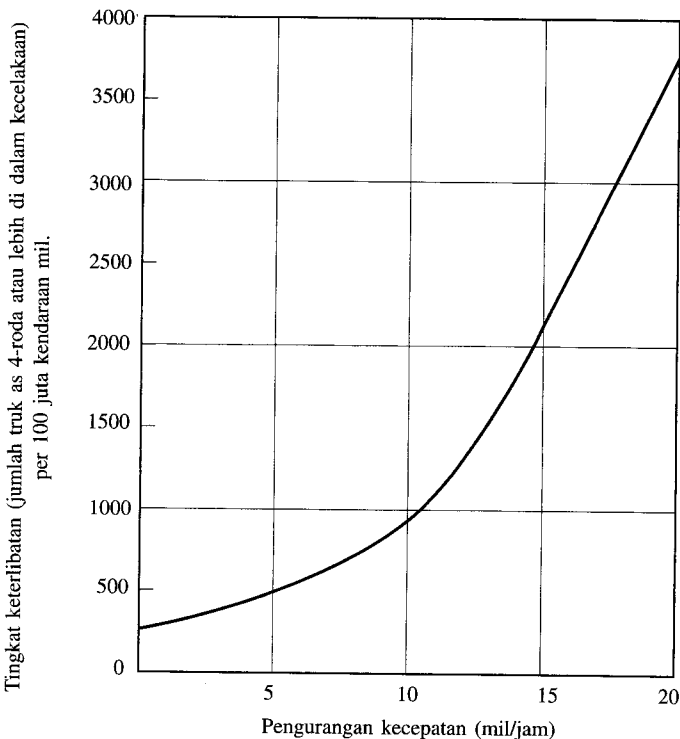
Sumber: AASHTO, 2001.

Tabel 6-14 Kemiringan Maksimum (%) untuk Jalan Tol Dalam dan Luar Kota^a

Jenis Permukaan	Kecepatan Desain (mil/jam)						
	50	55	60	65	70	75	80
	Kemiringan (%) ^a						
Rata	4	4	3	3	3	3	3
Bergelombang	5	5	4	4	4	4	4
Pegunungan	6	6	6	5	5	–	–

^aKemiringan 1% lebih tajam dari nilai yang diperlihatkan yang dapat digunakan untuk kasus ekstrim di daerah perkotaan di mana pembangunan meliputi penggunaan kemiringan yang lebih landai dan untuk jalan menurun satu-arah kecuali di medan pegunungan.

Sumber: AASHTO, 2001.



Gambar 6-12 Tingkat Kecelakaan Truk sehingga Kecepatan Laju Dikurangi di bawah Kecepatan Laju Rata-rata dari Seluruh Lalu-lintas (AASHTO, 2001).

Tabel 6-15 Tahanan terhadap Guling pada Material Permukaan Jalan

Material Permukaan	Daya Tahan untuk Kemiringan Bergelombang (lb/1.000 lb GVW) ^a	Kemiringan Ekivalen ^b (%)
Beton semen Portland	10	1,0
Beton Aspal	12	1,2
Kerikil padat	15	1,5
Material lepas, berpasir	37	3,7
Material lepas, batu pecah	50	5,0
Material lepas, kerikil	100	10,0
Pasir	150	15,0
Kerikil	250	25,0

^aBerat Kotor Kendaraan^bDaya tahan permukaan berbukit yang dinyatakan dengan ekivalen kemiringan

Sumber: AASHTO, 2001

akibatkan penurunan kecepatan sebesar 10 mil/jam atau lebih pada kendaraan yang penuh muatan. Tindakan semacam ini dapat dibenarkan ketika volume lalu-lintas padat dan persentase kendaraan dengan beban yang berat/perbandingan tenaga kuda yang tinggi. *Highway Capacity Manual* (TRB, 2000) dan AASHTO (2001) dapat dijadikan sebagai acuan untuk menentukan tingkat pelayanan yang dikehendaki pada jalan raya dua-jalur tertentu ditinjau dari kemiringannya dan kebutuhan untuk lajur tanjakan.

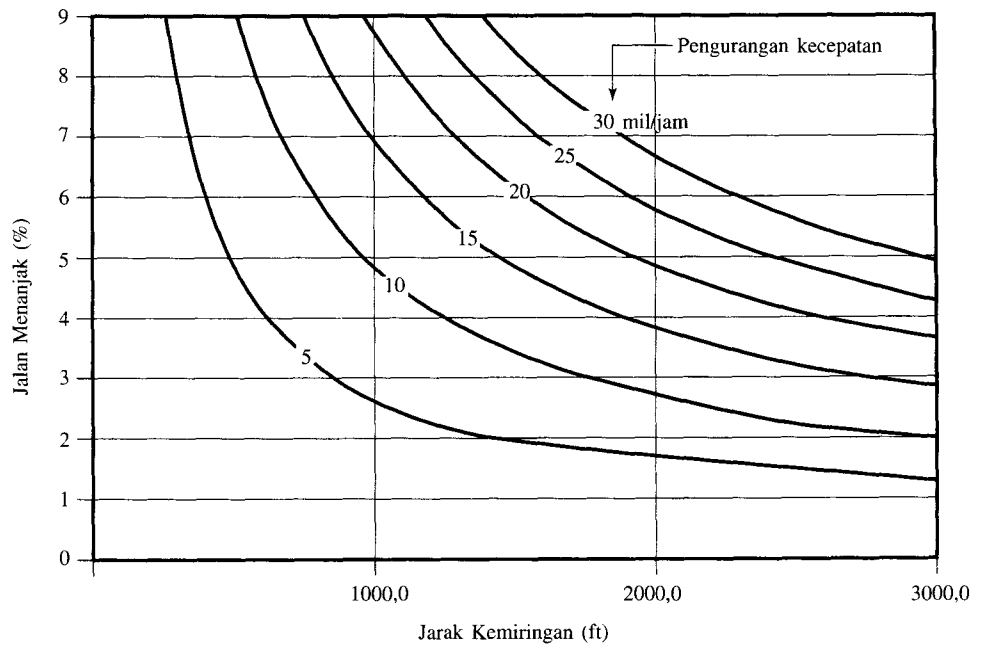
4.3.3 Ramp Keluar Darurat Kebutuhan akan ramp keluar darurat pada suatu kemiringan jalan yang panjang dan menurun adalah sesuai untuk memperlambat atau menghentikan kendaraan yang kehilangan kendali agar bisa keluar dari lalu-lintas utama. Kehilangan kemampuan untuk mengerem akibat panas yang terlalu tinggi atau kerusakan mesin mengakibatkan pengemudi kehilangan kendali kendaraannya.

Gambar 6-14 mengilustrasikan tahanan udara, inersia, gradien, dan tahanan guling pada sebuah kendaraan. Nilai untuk tahanan guling (*rolling resistance*) diberikan pada Tabel 6-15. Empat jenis dasar ramp keluar darurat yang biasa digunakan adalah: gundukan pasir, kemiringan menurun, kemiringan horizontal dan kemiringan meningkat, yang diperlihatkan pada Gambar 6-15. Tiap jenis tersebut sesuai untuk kondisi topografi tertentu.

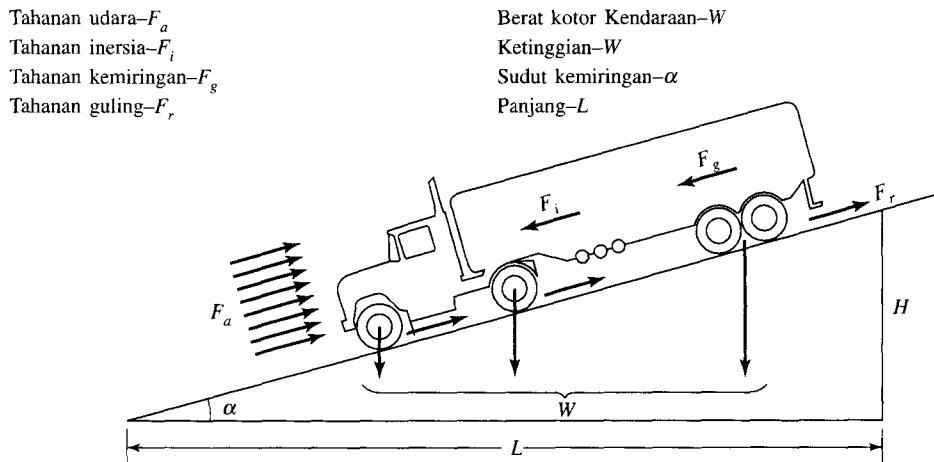
4.3.4 Lengkungan Vertikal Perubahan bertahap antara kemiringan tangen dilakukan dengan menggunakan salah satu dari antara kelengkungan puncak atau lembah pada Gambar 6-16. Lengkungan vertikal biasanya akan menghasilkan desain yang aman, nyaman dalam pengoperasian, bentuk yang bagus, dan memadai untuk drainase. Jarak penglihatan yang memadai untuk kecepatan desain merupakan faktor pengendalian utama untuk keselamatan operasional pada lengkungan vertikal puncak. Dalam seluruh kasus, jarak penglihatan berhentinya harus minimum.

Kurva parabola biasanya digunakan dalam desain jalan raya. Keseimbangan vertikal dari tangennya bervariasi sebesar kuadrat jarak horizontal dari titik lengkungan atau tangen vertikalnya (PVC atau PVT). Bentuk geometris salah satu lengkungan vertikal diperlihatkan pada Gambar 6-17. Persamaan umum parabolanya adalah:

$$y = ax^2$$



Gambar 6-13 Panjang Kemiringan Kritis untuk Desain, Diasumsikan Truk Berat Tipikal 200lb/hp, Kecepatan Masuk 70 mil/jam.



Gambar 6-14 Gaya-gaya yang Bekerja pada Kendaraan yang Bergerak (AASHTO, 2001).

Tingkat perubahan kemiringan dari tangen parabola ini adalah:

$$\frac{dy}{dx} = 2ax$$

Tingkat perubahan kemiringan per stasiun adalah:

$$\frac{d^2y}{dx^2} = 2a = \frac{100A}{L}$$

di mana $A\%$ adalah selisih aljabar dalam kemiringan, $(G_2 - G_1)$, dan L , panjang lengkungan (feet atau meter), adalah proyeksi horizontal dari kurva pada sumbu- x .

$$\text{Keseimbangan kurva tengah } E = \frac{AL}{800} = M \quad (18)$$

Keseimbangan lain bervariasi sebesar kuadrat jarak dari PVC (atau PVT). Sebagai contoh,

$$\frac{y}{x^2} = \frac{E}{(L/2)^2} \quad \text{atau} \quad y = \frac{Ax^2}{200L} \quad (19)$$

Ada baiknya kita menyatakan y dalam E sebagai berikut:

$$y = \left(\frac{x}{L}\right)^2 4E$$

Ketinggian titik-titik pada lengkungan vertikal dapat dicari dengan mudah dari persamaan:

$$E_p = E_{PVC} + \left(\frac{G_1}{100}\right)x + \frac{Ax^2}{200L}$$

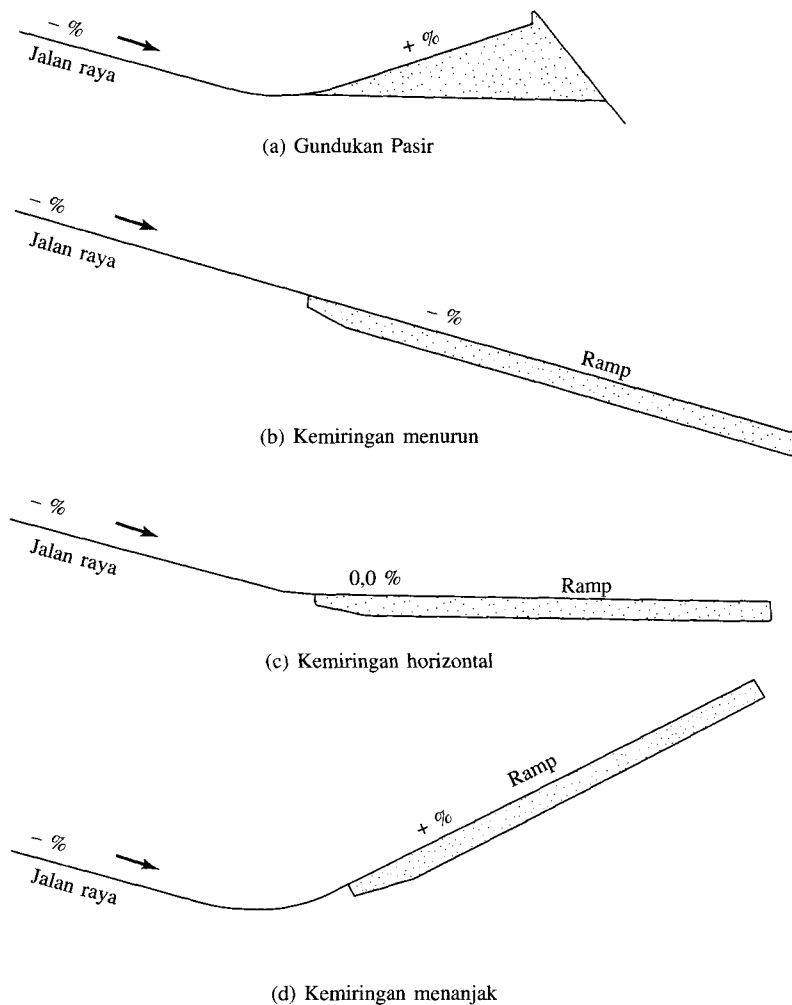
di mana

E_p = Ketinggian titik P tertentu pada lengkungan vertikal, x feet dari PVC

E_{PVC} = Ketinggian titik lengkungan vertikal

4.3.5 Lengkungan Vertikal Puncak Panjang minimum lengkungan vertikal puncak ditentukan oleh jarak penglihatan yang dibutuhkan, yaitu kemampuan pengemudi untuk melihat suatu hambatan di puncak lengkungan, dalam jarak pemberhentian yang aman. Persamaan dasar untuk panjang lengkungan vertikal parabola (L) diberikan dalam selisih aljabar dalam kemiringan-kemiringan A dan jarak penglihatan S .

Gambar 6-18 menggambarkan dua kasus lengkungan vertikal, yang pertama $S > L$, dan yang kedua $S < L$. Ketinggian mata pengemudi H_1 , dan ketinggian objek, H_2 , merupakan keseimbangan vertikal bagi garis tangen penglihatan. Masalah yang dihadapi adalah bagaimana menentukan kemiringan garis penglihatan yang akan membuat jarak ad , Gambar 6-18 (a) menjadi minimum. Jika g menunjukkan selisih antara kemiringan jarak penglihatan dengan kemiringan G_1 , maka $A - g$ adalah selisih antara kemiringan garis penglihatan dengan kemiringan G_2 . Dalam kasus 1, $S > L$, bagaimana membuat bentuk parabola sehingga proyeksi horizontal dari perpotongan dibentuk oleh suatu tangen yang nilainya sama dengan satu setengah proyeksi garis lurus panjang dari parabola. Jarak penglihatan dapat dinyatakan sebagai jumlah proyeksi horizontal, $ab + bc + cd$, dalam Gambar 6-18 (a):



Catatan: Penampang diambil pada garis dasar ramp

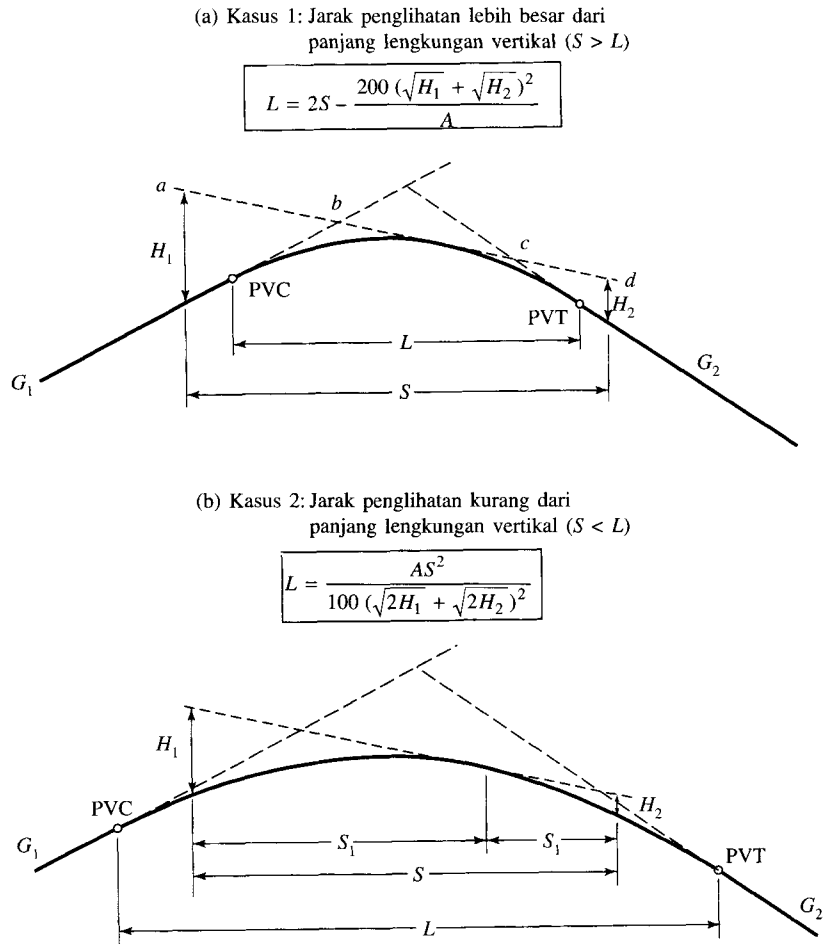
Gambar 6-15 Tipe Dasar Ramp Keluar Darurat Jalan Raya (AASHTO, 2001).

$$S = \frac{100 H_1}{g} + \frac{L}{2} + \frac{100 H_2}{A - g} \quad (20)$$

Untuk mendapatkan kemiringan garis penglihatan yang akan membuat S minimum, tentukan $dS/dg = 0$; sehingga,

$$\frac{dS}{dg} = -\frac{100 H_1}{g^2} - \frac{100 H_2}{(A - g)^2} = 0$$

$$g = \frac{A\sqrt{H_1 H_2} - H_1 A}{H_2 - H_1} \quad (21)$$



Di mana L = Panjang lengkungan vertikal, feet atau meter
 S = Jarak penglihatan, feet atau meter
 A = Selisih aljabar pada kemiringan, persen
 H_1 = Tinggi mata di atas permukaan jalan, feet atau meter
 H_2 = Tinggi objek di atas permukaan jalan, feet atau meter

Gambar 6-18 Jarak Penglihatan dari Lengkungan Vertikal Puncak (Carter dan Homburger, 1978).

Menghitung S_1 dan S_2 dan kemudian menjumlahkannya untuk mendapatkan S , kita peroleh:

$$L = \frac{AS^2}{100 (\sqrt{2H_1} + \sqrt{2H_2})^2} \quad (24)$$

Kriteria untuk ketinggian mata dan objek diberikan pada Tabel 6-16. Jika H_1 diasumsikan 3,5 feet dan H_2 2,0 feet, maka Persamaan (22) dan (24) dapat dinyatakan sebagai:

$$L = 2S - \frac{2158}{A} \quad \text{untuk } S > L \quad (25)$$

Tabel 6-16 Kriteria dalam Desain Lengkungan Puncak

	Jarak Penglihatan untuk Berhenti (ft)	Jarak Parameter Penglihatan untuk Mendahului (ft)
Tinggi mata, H_1	3,50	3,50
Tinggi objek, H_2	2,0	3,50
Lengkungan panjang minimum		
$S > L$	$2S - 2158/A$	$2S - 2800/A$
$S < L$	$AS^2/2158$	$AS^2/2800$

Sumber: AASHTO, 2001

$$L = \frac{AS^2}{2158} \quad \text{untuk } S > L \quad (26)$$

yang berlaku untuk jarak penglihatan untuk berhenti.

Dengan cara yang sama, jika nilai H_1 dan H_2 diasumsikan masing-masing 3,50 ft, Persamaan (22) dan (24) dapat dinyatakan sebagai:

$$L = 2S - \frac{2800}{A} \quad \text{untuk } S > L \quad (27)$$

$$L = \frac{AS^2}{2800} \quad \text{untuk } S > L \quad (28)$$

yang berlaku untuk jarak penglihatan untuk mendahului.

Contoh 6

Kemiringan +3,9% memotong kemiringan -1,9% pada stasiun 20 + 50,00 dan ketinggian 1.005 + 00 ft.

- Tentukan jarak minimum dari lengkungan vertikal puncak untuk kecepatan desain 50 mil/jam.
- Hitunglah lokasi PVC dan ketinggian dari titik tengah lengkungan.

Jawaban

Asumsi: ketinggian mata pengemudi $H_1 = 3,5$ ft; ketinggian objek untuk berhenti $H_2 = 2,0$ ft. Lengkungan vertikal puncak ini adalah lengkungan parabola.

Perhitungan:

- $A = -1,9 - 3,9 = -5,8\%$. Dari Tabel 6-4, jarak pemberhentian minimum, $S = 475$ ft untuk $V = 50$ mil/jam. Jika $S \leq L$ maka:

$$\begin{aligned}
 L &= \frac{|A|S^2}{100(\sqrt{2H_1} + \sqrt{2H_2})^2} = \frac{|-5,8|(425)^2}{100(\sqrt{2 \times 3,5} + \sqrt{2 \times 2,0})^2} \\
 &= 485,39 \text{ kaki}
 \end{aligned}$$

Jawaban ini adalah benar karena $425 < 485,39$, sehingga $L = 485,39$ ft.

- Titik tengah lengkungan adalah di $x = L/2 = 242,7$ ft, sehingga lokasi PVC = 2.050,00 - 242,70 = 1.807,30 atau stasiun 18 + 07,30, Keseimbangan dari tengah lengkungannya dinyatakan dengan:

$$E = \frac{AL}{800} = \frac{-5,8 \times 485,39}{800} = -3,52 \text{ feet}$$

Dengan demikian, ketinggian dari titik tengah lengkungan = $1.005,00 - 3,52 = 1.001,48$ ft.

Pembahasan

Jika hasil perhitungan L lebih kecil dari S pada bagian (a), persamaan untuk L dengan $S > L$ harus digunakan. Panjang lengkungan puncak harus menyediakan jarak pemberhentian yang aman dan pada saat yang sama memenuhi kebutuhan desain khusus dari geometri jalan. Ketika persamaan desain untuk lengkungan telah diketahui, maka lokasi dan ketinggian setiap titik pada lengkungan dapat diperoleh.

4.3.6 Lengkungan Vertikal Lembah (*sag vertical curve*) Ada lebih dari satu kriteria yang digunakan untuk menentukan panjang lengkungan vertikal lembah. Kriteria umumnya adalah (1) jarak penglihatan lampu besar, (2) kenyamanan pengemudi, (3) pengendalian drainase, dan (4) perhitungan kasar tentang bentuk umum. Kriteria yang banyak digunakan adalah jarak penglihatan lampu besar. Ketika sebuah kendaraan melintasi lengkungan vertikal lembah pada malam hari, ruas jalan raya yang disinari lampu ke arah depan tergantung pada posisi lampu besar dan arah lampu kecil. Ketinggian lampu besar 2 ft dan 1 derajat ke atas terpisah dari lampu kecil dari sumbu longitudinal kendaraan adalah konfigurasi yang biasa digunakan.

Untuk kasus 1, di mana $S > L$, perpotongan sinar lampu kecil dengan perkerasan membutuhkan panjang lengkungan:

$$L = 2S - \frac{200(H + S \tan B)}{A} \quad (29)$$

dan ketika $H = 2$ ft dan $B = 1$ derajat,

$$L = 2S - \frac{400 + 3,55S}{A} \quad (30)$$

Untuk kasus dua, di mana $S < L$, panjang lengkungan vertikal adalah

$$L = \frac{AS^2}{200(H + S \tan B)} \quad (31)$$

dan ketika $H = 2$ ft, dan $B = 1$ derajat,

$$L = \frac{AS^2}{400 + 3,55 S} \quad (32)$$

di mana

L = panjang lengkungan lembah (ft)

S = jarak cahaya lampu kecil (ft)

A = selisih aljabar kemiringan (%)

Pada umumnya jarak cahaya lampu kecil, S , dikaitkan dengan jarak penglihatan untuk berhenti yang aman karena lengkungan vertikal harus mempunyai panjang yang cukup agar kedua jarak tersebut hampir sama. Demikian pula, akan lebih baik apabila kita menggunakan

jarak penglihatan untuk berhenti pada berbagai kecepatan sebagai nilai S pada persamaan-persamaan sebelumnya.

Rasa tidak nyaman yang dialami oleh pengemudi pada lengkungan lembah lebih besar dari apa yang dialami pada lengkungan puncak, karena gaya gravitasi dan gaya sentrifugal saling menguatkan dan bukan saling meniadakan. Kenyamanan pengemudi pada lengkungan vertikal lembah diperoleh apabila percepatan sentrifugalnya tidak melebihi 1 ft/detik^2 . Persamaan umum untuk kriteria ini adalah:

$$L = \frac{AV^2}{46,5} \quad (33)$$

di mana V adalah kecepatan desain (mil/jam).

Panjang lengkungan vertikal yang diperlukan untuk memenuhi kriteria kenyamanan pada berbagai kecepatan adalah sekitar 50% dari yang dibutuhkan untuk memenuhi kebutuhan jarak penglihatan lampu besar. Ketika lengkungan vertikal lembah melewati terowongan bawah tanah, strukturnya yang *overhead* dapat menyebabkan pemendekan jarak penglihatan. Pada situasi seperti ini, panjang lengkungan vertikal yang dibutuhkan untuk jarak penglihatan yang memadai dan jarak amannya dapat ditentukan, seperti diperlihatkan pada Gambar 6-19, dengan menggunakan persamaan berikut:

Kasus 1: Jarak penglihatan lebih besar dari panjang lengkungan vertikal ($S > L$):

$$L = 2S - \frac{800}{A} \left(C - \frac{H_1 + H_2}{2} \right)$$

Kasus 2: Jarak penglihatan lebih kecil dari panjang lengkungan vertikal ($S < L$):

$$L = \frac{AS^2}{800} \left(C - \frac{H_1 + H_2}{2} \right)^{-1}$$

5. ELEMEN-ELEMEN PENAMPANG MELINTANG

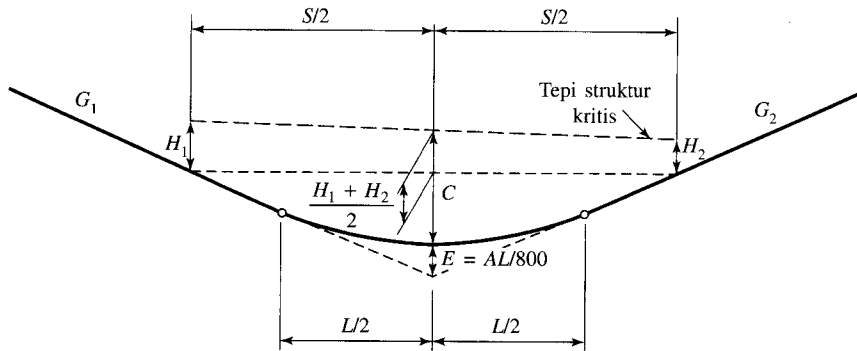
Sebagaimana telah diungkapkan sebelumnya, jalan raya diklasifikasikan berdasarkan fungsinya, dan tiap kelas jalan raya—seperti jalan raya dan jalan lokal, jalan di zona pengumpul, jalan arteri di kota dan pinggir kota, dan jalan tol—mempunyai bentuk desain yang unik. Dengan demikian unsur-unsur penampang melintang tergantung pada penggunaan fasilitas. Walau demikian, hampir seluruh penampang melintang jalan raya tersusun atas empat elemen dasar:

1. Jalan perkerasan, terdiri dari lajur-lajur untuk lalu lintas kendaraan
2. Sisi jalan, yaitu bahu jalan, rambu, saluran air, dan median
3. Sarana pemisah lalu-lintas, yang meliputi penghalang lalu-lintas, median penghalang, dan pengaman kecelakaan
4. Sarana pejalan kaki dan pengendara sepeda

Karakteristik lalu-lintas dan tingkat pelayanan yang dikehendaki akan menentukan konfigurasi dan dimensi dari tiap-tiap keempat elemen di atas. Keinginan untuk mengembangkan fasilitas juga mempunyai dampak pada pemilihan, konfigurasi, dan dimensi elemen-elemen tersebut. Sebagai contoh, kecenderungan rentang dimensi untuk jalan arteri empat-lajur diperlihatkan pada Gambar 6-20 (a-c). Pengaturan penampang melintang ini menandai keseimbangan ruas jalan di bawah kondisi hak jalan yang terbatas, minimum, dan sesuai harapan. Keinginan

(a) Kasus 1: Jarak penglihatan lebih besar dari panjang lengkungan vertikal ($S > L$)

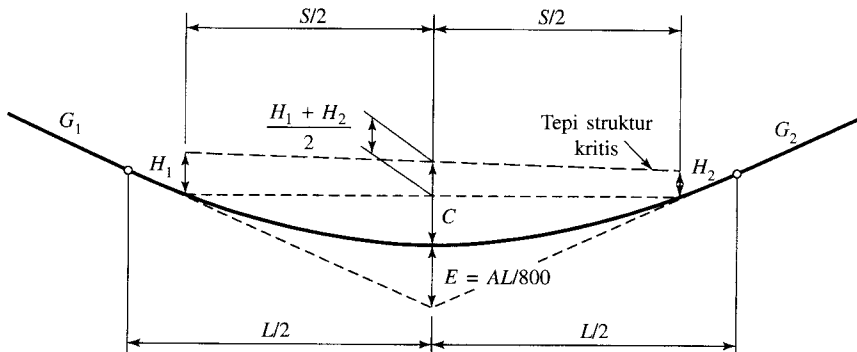
$$L = 2S - \frac{800}{A} \left(C - \frac{H_1 + H_2}{2} \right) \quad *$$



*Persamaan ini berlaku dengan kondisi tepi struktur kritis tidak lebih dari 200 ft (60 m) dari vertex (puncak)

(b) Kasus 2: Jarak penglihatan kurang dari panjang lengkungan vertikal ($S < L$)

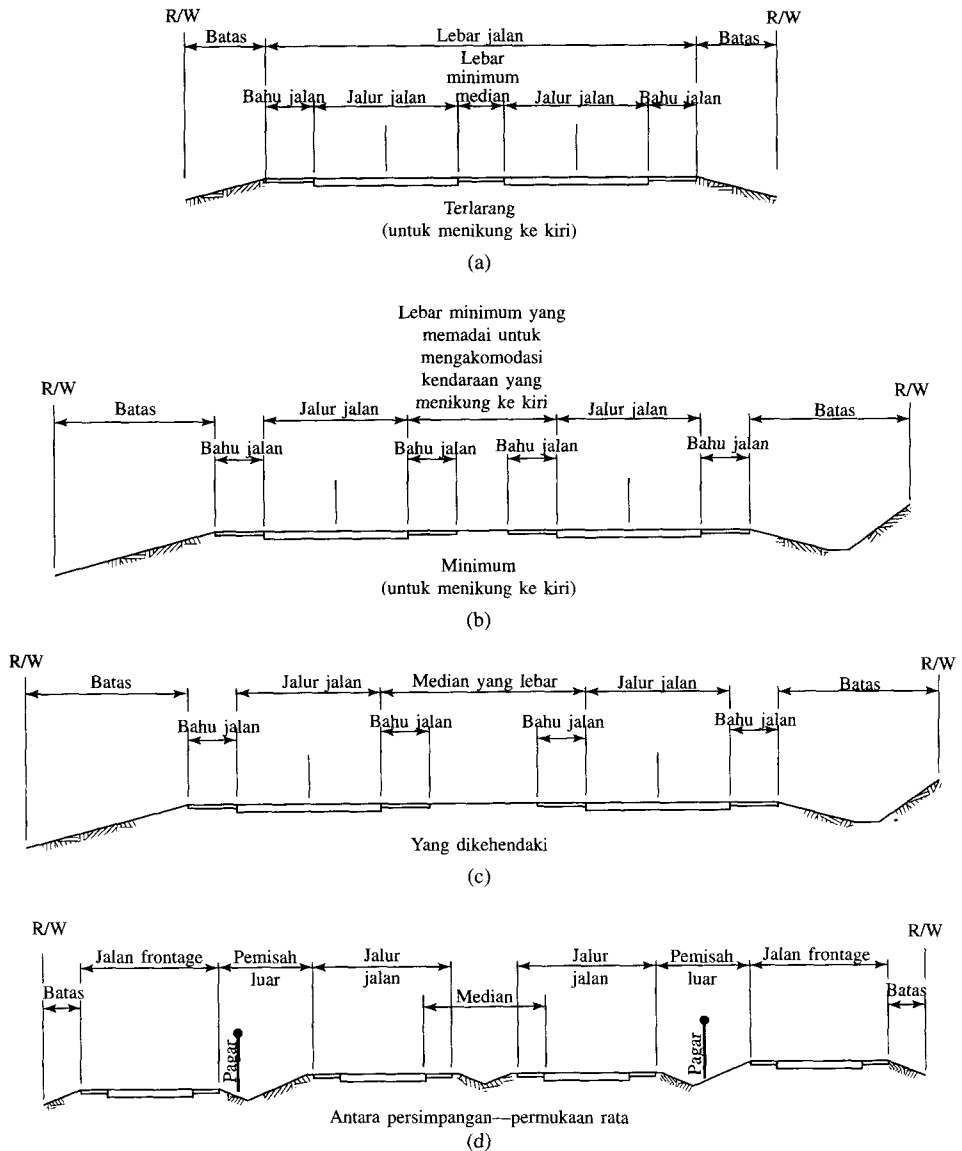
$$L = \frac{AS^2}{800} \left(C - \frac{H_1 + H_2}{2} \right)^{-1} \quad *$$



di mana

- L = Panjang lengkungan vertikal, feet atau meter
- A = Selisih aljabar dalam kemiringan, persen
- S = Jarak penglihatan, feet atau meter
- C = Jarak vertikal terowongan, feet atau meter
- H_1 = Tinggi mata vertikal di atas permukaan jalan, feet atau meter
- H_2 = Tinggi objek vertikal di atas permukaan jalan, feet atau meter

Gambar 6-19 Jarak Penglihatan pada Terowongan (*underpass*) (Carter dan Homburger, 1978).



Gambar 6-20 Pengaturan Penampang Melintang pada Jalan Arteri Terbagi.

untuk memperluas jalan hingga enam atau delapan lajur dapat dilakukan dengan meningkatkan lebar jalan. Lebar tambahan sebaiknya tidak diubah di bagian tengah sampai dibutuhkan. Rincian dari kelas jalan dan jalan raya lainnya diuraikan dalam AASHTO, 2001. Di daerah perkotaan, dan kadangkala daerah luar kota, seringkali diperbolehkan untuk memisahkan lalu-lintas yang hanya lewat saja dari lalu-lintas lokal. Ini dapat dicapai dengan menyediakan jalan sejajar (*frontage road*) di sepanjang batas luar dari penampang melintang jalan raya seperti di pada Gambar 6-20 (d).

5.1 Karakteristik Perkerasan

Pemilihan perkerasan umumnya ditentukan oleh volume dan komposisi lalu-lintas, karakteristik tanah, cuaca, kondisi perkerasan di daerah tersebut, ketersediaan material, biaya awal, biaya

pemeliharaan tahunan dan biaya pelayanan. Desain struktural perkerasan diulas dalam berbagai buku (AASHTO, 1996, 2001; Huang, 1993), dan sebagai referensi lihat juga AASHTO, 1993.

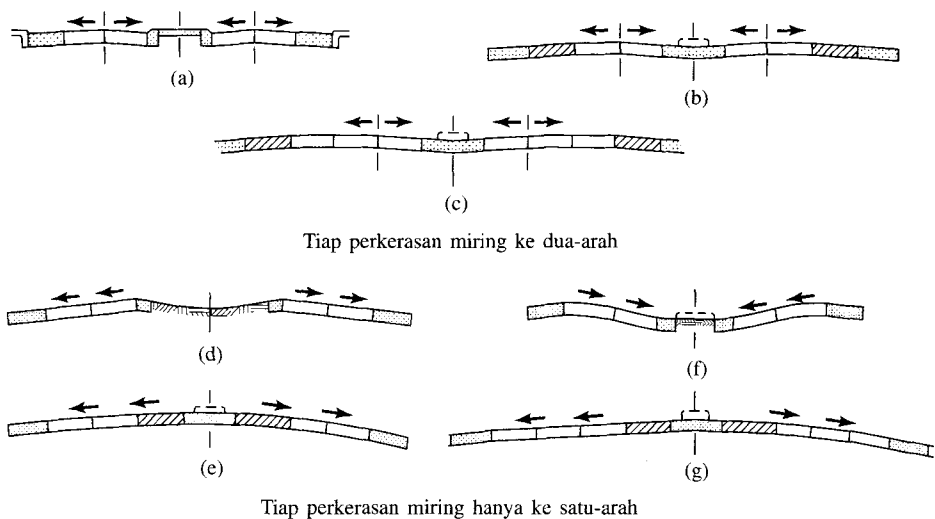
Beberapa di antara karakteristik perkerasan yang paling penting dalam kaitannya dengan desain geometris adalah kemampuan permukaan perkerasan untuk mempertahankan bentuk dan dimensinya selama siklus hidupnya, kemampuan untuk mengalirkan air hujan dipermukaan dan di bawah permukaan, dan kemampuan untuk menyediakan daya tahan gelincir yang memadai bagi kendaraan yang melaluinya.

5.2 Kemiringan-silang Perkerasan

Perkerasan tak-terbagi dua-lajur atau lebih di atas tangen dibuat miring dari pusat ke tiap tepi untuk mencegah air terkumpul di atas permukaan perkerasan. Kemiringan-silangnya bisa datar atau melengkung atau kombinasi keduanya. Penampang melintang lengkungan perkerasan umumnya berbentuk parabola. Pada jalan raya yang terbagi, tiap perkerasan satu-arah terbagi dua melalui puncaknya. Bagian-bagian jalan untuk jalan raya yang terbagi diperlihatkan pada Gambar 6-21. Kemiringan-silang hingga 2% hampir tak terasa oleh pengemudi, tetapi kemiringan yang lebih besar dari 2% dapat menimbulkan masalah pengendalian dan gelincir. Untuk perkerasan tipe-tinggi dua-lajur, tingkat kemiringan-silang yang dapat diterima berkisar dari 1,5 sampai 2%. Tipe permukaan rendah dan menengah masing-masing mempunyai kemiringan-silang mulai dari 1,5 sampai 3% dan dari 2 sampai 6%.

5.3 Lebar Lajur

Pada umumnya lebar lajur yang banyak digunakan pada jalan raya di Amerika Serikat adalah 9 sampai 12 feet, meskipun yang mendominasi adalah 12 feet. Kapasitas jalan raya sangat dipengaruhi oleh lebar lajur, dan pengaruh ini akan dijelaskan lebih lanjut pada Bab 7. Penggunaan lajur 11 feet dapat diterima di daerah perkotaan, di mana daerah milik jalan serta



Gambar 6-21 Bagian Ruas Jalan untuk Jalan Raya Terbagi (AASHTO, 2001).

biaya bisa menjadi masalah. Lajur 9 feet juga dapat digunakan tetapi hanya pada fasilitas dengan volume kecil. Lajur tambahan pada persimpangan dan percabangan sering kali membantu pergerakan lalu-lintas. Lajur semacam ini paling tidak harus mempunyai lebar 10 feet.

5.4 Bahu Jalan

Bahu jalan harus disediakan di sepanjang jalan raya. Bahu jalan digunakan untuk mengakomodasi kendaraan yang berhenti dalam keadaan bahaya dan dukungan lateral untuk jalur tambahan atau jalur pendukung dalam keadaan tertentu. Lebar bahu jalan bervariasi dari 2 sampai 12 feet. Bahu utama dan bahu samping diperlihatkan pada Gambar 6-22. Permukaan bahu jalan dapat disusun dengan batuan, batuan yang dihancurkan, cangkang, mineral atau bahan kimia sintetis, bitumin, dan berbagai bentuk aspal atau beton perkerasan. Beberapa keuntungan penting bahu jalan adalah:

- Suatu lajur atau ruang tersedia bagi kendaraan yang berada dalam situasi darurat; pejalan kaki atau pengendara sepeda juga dapat menggunakan bahu jalan.
- Jarak penglihatan ditingkatkan pada bagian-bagian yang terpotong.
- Kapasitas dapat ditingkatkan.
- Tepi bahu jalan dapat digunakan untuk rambu dan petunjuk arah.
- Struktur pendukung tersedia bagi perkerasan.

Suatu bahu jalan tidak boleh terputus, terlepas dari berapa pun lebarnya. Bahu jalan pada struktur tertentu seperti jembatan harus mempunyai lebar yang sama dengan bahu jalan di jalan regular. Penyempitan bahu jalan dapat mengakibatkan masalah keselamatan dan operasional yang sangat serius.

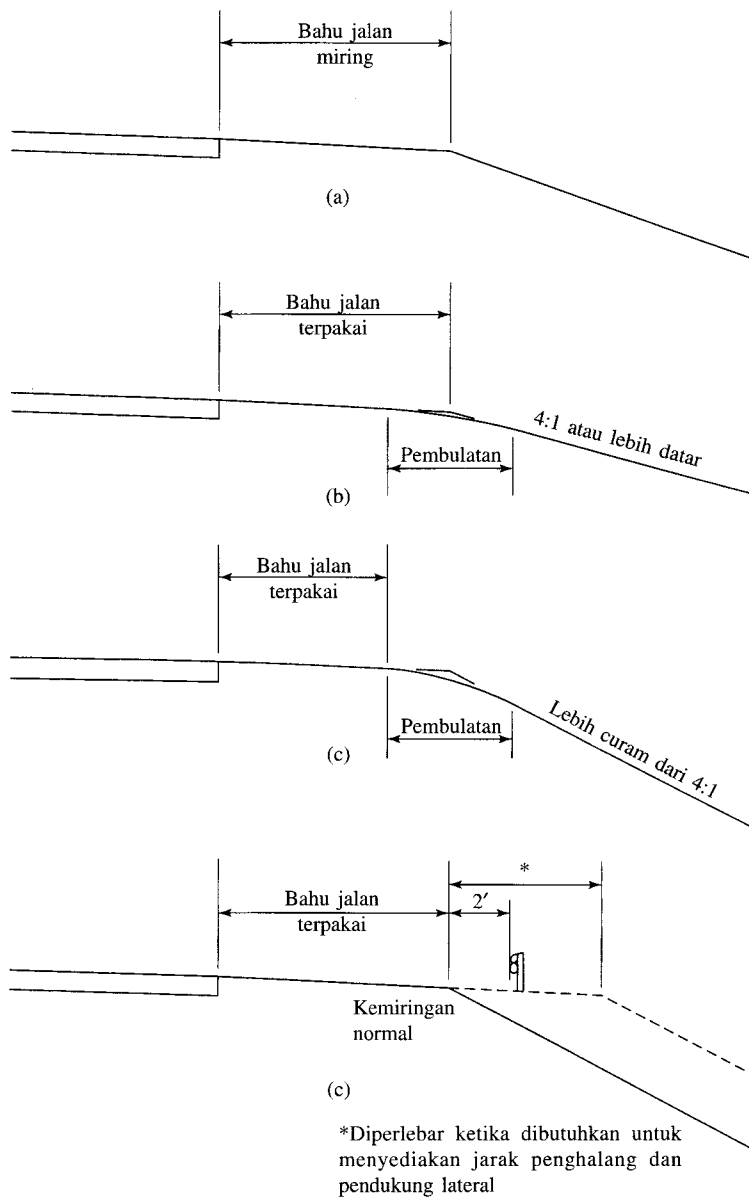
5.5 Pembatas Tepi Jalan

Pembatas tepi jalan (*curb*) digunakan untuk beberapa alasan berikut: drainase, kelurusan tepi perkerasan, pengurangan hak milik jalan, keindahan, kelurusan jalan bagi pejalan kaki dan pengurangan aktivitas pemeliharaan. Jalan raya di perkotaan mendapatkan keuntungan dari penggunaan pembatas tepi jalan dalam hal keselamatan lalu-lintas dan mengurangi kecelakaan. Jalan raya luar kota jarang menggunakan pembatas tepi. Meskipun demikian, pembatas tepi jalan ini kadangkala dibutuhkan pada jalan raya kecepatan-tinggi untuk pengendalian saluran air, membatasi hak milik jalan, atau alasan lainnya. Bila dibangun, pembatas tepi jalan harus selalu diletakkan pada tepi bagian-luar dari bahu jalan.

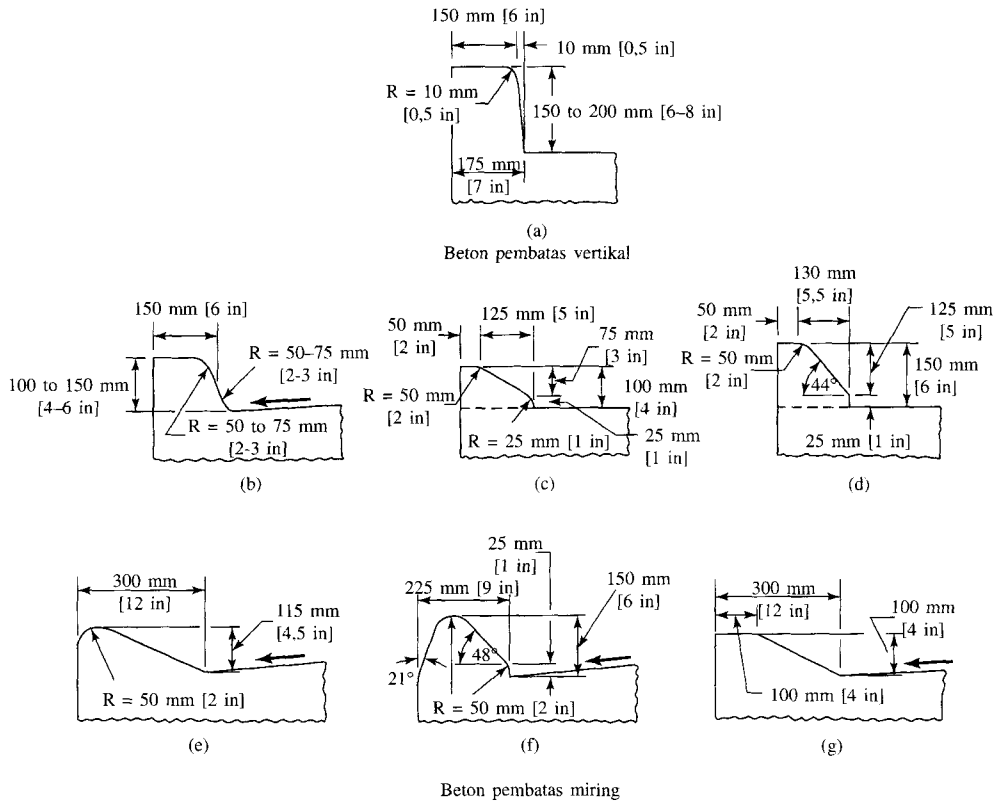
Pembatas tepi jalan jenis vertikal dan miring adalah dua kelas pembatas yang disediakan untuk jalan di perkotaan. Gambar 6-23 memperlihatkan jenis-jenis pembatas tepi jalan. Pembatas jenis vertikal dan trotoar yang aman dapat dibangun di sepanjang dinding jalan tol dan terowongan. Pembatas tepi jalan miring dapat dilintasi oleh kendaraan apabila diperlukan.

5.6 Kanal Drainase

Air permukaan dikumpulkan dan dialirkan keluar dari jalan raya melalui kanal drainase. Kanal-kanal drainase meliputi (1) kanal tepi jalan dalam bagian-bagian yang terpotong, (2) kanal bagian-ujung (*toe-of-slope channel*) untuk mengalirkan air ke sumber-sumber air alam, (3) kanal potong yang diletakkan kembali di bagian atas potongan kemiringan untuk menghambat permukaan air agar tidak terkumpul pada bagian yang terpotong, dan (4) kanal yang membawa genangan air keluar melalui kemiringan-kemiringan yang curam.



Gambar 6-22 Bahu Jalan Miring dan Bahu Jalan Terpakai (AASHTO, 2001).



Gambar 6-23 Jenis Pembatas Tepi Jalan Tipikal (AASHTO, 2001)

Pengendalian drainase permukaan adalah tujuan utama dari pembuatan kanal tepi jalan, dan parit-parit kanal terbuka yang diletakkan di sisi jalan adalah satu di antara metode yang paling ekonomis. Kedalaman kanal harus cukup untuk memindahkan air sehingga air tidak sampai menggenang ke permukaan perkerasan. *Highway Drainage Guidelines* (AASHTO, 1988) merupakan referensi yang baik tentang masalah kanal drainase.

5.7 Penghalang Lalu-lintas

Roadside Design Guide (AASHTO, 1996) mempunyai informasi terkini tentang masalah ini. Penjelasan singkat mengenai penghalang lalu-lintas akan diuraikan berikut ini.

Penghalang lalu-lintas (*traffic barrier*) digunakan untuk mengurangi tingkat keparahan kecelakaan, yang mungkin terjadi ketika kendaraan meninggalkan jalan yang dilalui. Yang harus menjadi perhatian serius adalah bahwa penghalang justru dapat menjadi penyebab kecelakaan itu sendiri, sehingga disarankan untuk mengurangi penggunaan penghalang. Penghalang lalu-lintas meliputi penghalang longitudinal, seperti penghalang tepi jalan dan median penghalang, dan bantal pengaman. Bantal pengaman terutama berfungsi untuk memperlambat kendaraan hingga berhenti atau dengan mengarahkan lalu-lintas.

Tiga jenis penghalang longitudinal yang biasa digunakan adalah penghalang lentur, semi-kaku, dan kaku. Perbedaan ketiga jenis ini adalah tingkat defleksi yang terjadi ketika penghalang ditabrak. Sistem penghalang lentur, biasanya sejenis kabel, bergantung pada kekuatan tarik dan lebih lentur dibanding kedua tipe lainnya. Sistem penghalang semi-kaku terdiri dari

rel-rel dan tiang-tiang, di mana kekuatannya diperoleh melalui kombinasi kelenturan dan kekuatan tarik dari rel. Sistem kaku seperti penghalang beton tidak berdefleksi saat tertabrak. Energi akan terdisipasi dengan terangkatnya dan terdeformasinya kendaraan itu sendiri ketika tabrakan. Karena defleksi lateral dari penghalang longitudinal bisa menimbulkan masalah, penggunaan sistem penghalang longitudinal bergantung pada ruang yang tersedia di jalan raya untuk mengakomodasi defleksi lateral ini.

5.8 Median

Median adalah bagian dari jalan raya terbagi (dengan empat lajur atau lebih) yang memisahkan lalu-lintas dalam dua-arah yang berlawanan. Lebar median adalah dimensi antar tepi-tepi lajur jalan dan meliputi bahu jalan, jika ada. Median menyediakan jalur bebas dari gangguan arus yang datang dari arah yang berlawanan, daerah pemulihan untuk kendaraan yang kehilangan kendali, daerah berhenti dalam keadaan darurat, ruang bagi perubahan kecepatan, tempat memutar dan ruang untuk penambahan lajur di masa yang akan datang.

Meskipun median harus dibuat selebar mungkin, tetapi faktor ekonomi seringkali membatasi lebar ini, karena biaya lahan dan pemeliharaan yang mahal. Median dapat diklasifikasikan menjadi median yang dapat dilalui, median pencegahan, dan median penghalang. Median yang dapat dilalui berupa garis putih putus-putus yang dengan mudah dapat dilalui. Jika di suatu jalan tersedia pembatas jalan beton di mana pada bagian tertentu dibuka untuk tempat berputar kendaraan, kita menyebutnya sebagai median pencegahan. Media penghalang biasanya berbentuk besi memanjang atau dinding beton yang dapat mencegah lalu-lintas untuk menyeberang atau melintasinya. AASHTO (1996) memberikan rincian tentang hal ini.

5.9 Jalur Sepeda dan Jalur Pejalan Kaki

Rincian mengenai dua kebutuhan penting ini akan di bahas dalam Bab 12. Kebutuhan untuk fasilitas pengendara sepeda layaknya mengacu pada *Guide for the Development of Bicycle Facilities* (AASHTO, 1999).

5.10 Hak-Prioritas-Jalan

Hak prioritas jalan (*right-of-way*) ditentukan oleh kebutuhan lalu-lintas, topografi, tata-guna lahan, biaya pembebasan tanah, desain persimpangan, dan berbagai kemungkinan perluasan. Lebar yang dibutuhkan untuk hak prioritas jalan adalah penjumlahan dari berbagai elemen penampang melintang, seperti jumlah lebar lajur, lebar median, lajur tambahan, bahu jalan, jalan *frontage* (jika ada), kemiringan samping, dan dinding penahan. Di daerah perkotaan, di mana harga lahan relatif mahal, para perancang harus memutuskan berapa lebar lahan yang mencukupi agar dapat memberikan layanan maksimum dengan segala keterbatasan lebar hak-prioritas-jalan. Pertimbangan ekonomis, keterbatasan fisik, dan masalah lingkungan merupakan faktor penting dalam penentuan lebar hak prioritas jalan.

Contoh 7

Estimasikanlah lebar total hak-prioritas-jalan (R/W) dari sebuah jalan raya di luar kota yang terbagi menjadi tiga lajur pada tiap arah. Perhatikan median, bahu jalan, lajur, kemiringan samping, dan seterusnya berikut dimensi-dimensi yang direkomendasikan dalam suatu penampang melintang jalan raya.

Jawaban

Kita menggunakan:

Lebar lajur = 12 ft

Kemiringan silang = 2%

Lebar bahu jalan = 6 ft

Lebar median = 4 ft

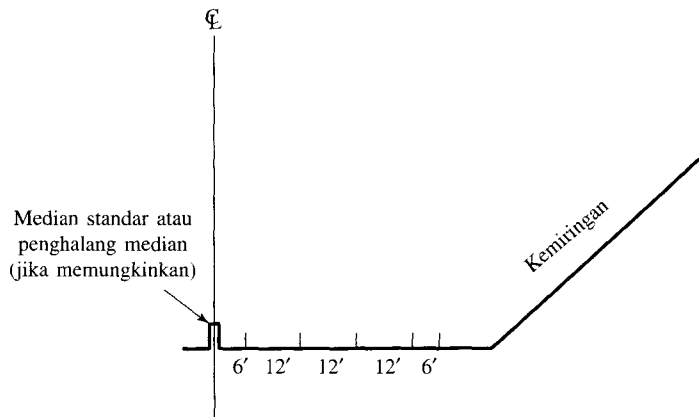
Kemiringan samping = 1:4 dan lebar = 20 ft

Maka

Hak Prioritas Jalan = $2[20 + 6 + (3 \times 12) + 6] + 4 = 140$ ft. Lihat Gambar 6-E7.

Pembahasan

Nilai kemiringan samping tergantung pada kedalaman bagian yang terpotong. Dalam praktek, jika kedalaman bagian yang terpotong kecil, maka kemiringan menjadi lebih curam. Tetapi jika kedalaman bagian yang terpotong relatif dalam, maka kemiringan menjadi landai, untuk menghindari longsor.



Gambar 6-E7 Hak-Prioritas-Jalan.

RANGKUMAN

Dimulai dengan pembahasan mengenai alinyemen, bab ini menjelaskan fitur-fitur kasat-mata dari jalan dan jalan raya. Pergerakan lalu-lintas yang aman, efisien dan ekonomis adalah faktor penentu pemilihan desain geometris jalan raya. Dampak dimensi kendaraan dan karakteristik operasinya telah dipelajari dalam hubungannya dengan desain geometris, yang melibatkan faktor pengemudi dan faktor manusia lainnya. Kecepatan kendaraan, volume lalu-lintas, dan kapasitas jalan raya membantu dalam menganalisis kelayakan jaringan jalan raya. Kecepatan kendaraan, tingkat percepatan dan perlambatan, dan saat-saat persepsi-reaksi pengemudi digunakan dalam menentukan jarak penglihatan untuk berhenti dan jarak penglihatan untuk mendahului yang aman. Faktor keselamatan adalah faktor yang dominan dalam pembahasan masalah pemberhentian atau mendahului kendaraan lain. Lengkungan horizontal berhubungan dengan keseimbangan kendaraan untuk mengantisipasi tikungan pada kecepatan tertentu. Panjang lengkungan vertikal juga diperlihatkan dalam hubungannya dengan keselamatan untuk berhenti dan mendahului. Elemen-elemen desain untuk lengkungan horizontal dan vertikal juga telah dibahas berikut fitur-fitur terkaitnya yaitu kemiringan jalan, lengkungan transisi, dan superelevasi. Kebutuhan batas jalan, peralatan pemisah lalu-lintas, jalur sepeda dan pejalan kaki menutup pembahasan kita tentang desain geometris.

DAFTAR PUSTAKA

- AMERICAN ASSOCIATION OF STATE HIGHWAY AND TRANSPORTATION OFFICIALS (AASHTO) (2001). *A Policy on Geometric Design of Highway and Streets I*, 4th ed., AASHTO, Washington, DC.
- AMERICAN ASSOCIATION OF STATE HIGHWAY AND TRANSPORTATION OFFICIALS (AASHTO) (1999). *Guide for the Development of Bicycle Facilities*, AASHTO, Washington, DC.
- AMERICAN ASSOCIATION OF STATE HIGHWAY AND TRANSPORTATION OFFICIALS (AASHTO) (1996). *Roadside Design Guide*, AASHTO, Washington, DC.
- AMERICAN ASSOCIATION OF STATE HIGHWAY AND TRANSPORTATION OFFICIALS (AASHTO) (1993). *Guide for Design of Pavement Structure*, AASHTO, Washington, DC.
- AMERICAN ASSOCIATION OF STATE HIGHWAY AND TRANSPORTATION OFFICIALS (AASHTO) (1988). *Highway Drainage Guidelines*, AASHTO, Washington, DC.
- ANDERSON, JAMES M., and EDWARD M. MIKHAIL (1998). *Surveying*, 7th ed., WCB/McGraw Hill, New York.
- CARTER, EVERETT C., and WOLFGANG S. HOMBURGER (1978). *Introduction to Transportation Engineering*, Reston Publishing, Reston, VA.
- FAMBRO, D. B., K. FITZPATRICK, and R. J. KOPPA (1997). *Determination of Stopping Sight Distances*, NCHRP Report 400, Transportation Research Board, Washington, DC.
- HUANG, YANG H. (1993). *Pavement Analysis and Design*, Prentice Hall, Englewood Cliffs, NJ.
- JHK AND ASSOCIATES (1980). *Design of Urban Streets*, Technology Sharing Report 80-204. U.S. Department of Transportation, Washington, DC.
- MEYER, CARL F., and DAVID W. GIBSON (1980). Harper and Row, New York.
- TRANSPORTATION RESEARCH BOARD (TRB) (2000). *Highway Capacity Manual*, National Research Council, Washington, DC.
- WRIGHT, PAUL H. (1996). *Highway Engineering*, 6th ed., Wiley, New York.

SOAL-SOAL LATIHAN

1. Jumlah kendaraan pada Tabel berikut diperoleh dari suatu bagian jalan raya selama sepuluh hari. Hitunglah lalu-lintas harian rata-rata (ADT) pada jalan raya tersebut.

Perhitungan Lalu-lintas	
Hari	Perhitungan Kendaraan
1	10.000
2	9.800
3	10.500
4	10.030
5	9.950
6	11.000
7	9.700
8	9.900
9	10.010
10	10.400

2. Jalan raya multi-lajur di luar kota dilewati oleh 750 kendaraan penumpang per jam per lajur pada satu-arah. Dengan menggunakan Gambar 6-4, tentukan kecepatan laju rata-rata di jalan raya ini.
3. Jalan raya di luar kota memiliki kemiringan + 6% di suatu daerah pegunungan. Jika batas kecepatan maksimum untuk truk adalah 70 mil/jam dan batas kecepatan minimumnya adalah 45 mil/jam, tentukan "panjang kritis" dari kemiringan ini.
4. Sebuah lengkungan transisi dibutuhkan untuk menghubungkan suatu bagian melingkar dengan suatu bagian lurus dari suatu jalan raya di luar kota. Jika kecepatan desain di jalan raya ini adalah 65 mil/jam dan radius kelengkungan dari bagian melingkar adalah 1000 ft, tentukan panjang kelengkungan transisi. (Diasumsikan $C = 2$).
5. Jalan raya dua-lajur yang rata di luar kota mempunyai ruas melengkung 10 derajat ketika melewati sebuah gedung tinggi. Sudut penghalang gedung adalah 24,5 ft dari garis pusat jalan raya.
 - (a) Jika lebar lajur jalan raya adalah 11 ft, berapakah jarak penglihatan untuk berhenti di ruas ini?
 - (b) Berapakah kecepatan yang aman pada ruas ini, jika sudut ini hanya memiliki jarak 17 ft dari garis pusat jalan raya?
6. Suatu ruas jalan raya dua-lajur di luar kota terdiri dari kemiringan -3% yang memotong kemiringan +2%. Batas kecepatan jalan raya ini adalah 55 mil/jam. Ketinggian lampu besar rata-rata kendaraan adalah 2 ft dengan sudut lampu 1 derajat. Tentukan panjang dari lengkungan vertikal lembah yang menghubungkan kedua kemiringan tersebut, dengan mempertimbangkan laju untuk berhenti yang aman. Buatlah beberapa asumsi yang dibutuhkan.
7. Suatu kemiringan +7,5% bertemu dengan permukaan horizontal pada suatu ruas jalan raya di daerah pegunungan. Jika panjang dari lengkungan vertikal puncak yang terbentuk pada ruas ini adalah 300 ft, tentukan kecepatan operasional yang aman pada jalan raya ini.
8. Sebuah lengkungan vertikal puncak parabola terbentuk ketika jalan raya di luar kota melintas di bawah sebuah jembatan yang menghubungkan kemiringan -8% dengan permukaan horizontal. Titik vertikal persimpangan dari kedua kemiringan ini terletak 3 ft di bawah lengkungan. Jika jarak vertikal dari jalan di bawah jembatan hanya 10 ft, berapakah batas kecepatan yang Anda sarankan untuk ruas ini, dengan mempertimbangkan jarak penglihatan untuk berhenti yang aman?
9.
 - (a) Sebuah ruas jalan raya di luar kota terdiri dari jalan turunan 4% dengan panjang 1.000 ft diikuti tanjakan sebesar 6%. Jika pengurangan kecepatan 15 mil/jam diperbolehkan untuk truk, berapakah panjang ruas tanjakan 6% yang Anda sarankan?
 - (b) Lebih jauh lagi, jalan raya ini menanjak dengan kemiringan 2% pada jarak 1.300 ft diikuti kemudian dengan tanjakan 5%. Berapakah panjang kritis yang Anda sarankan pada ruas tanjakan 5% jika penurunan kecepatan untuk truk dibatasi sebesar 10 mil/jam?

10. Lengkungan vertikal parabola menghubungkan kemiringan +4,5% dengan kemiringan -4% pada suatu jalan raya di luar kota di stasiun 875 + 25,4 dan ketinggian 512,6 ft di atas permukaan laut. Panjang lengkungan adalah 550 ft. Hitunglah lokasi dan ketinggian dari PVC dan PVT, dan ketinggian pada stasiun 870 + 50 dan 876 + 50.
11. Tentukan derajat maksimum lengkungan horizontal untuk sebuah jalan di mana kecepatan desain adalah 65 mil/jam. Faktor gesekan samping, μ , dan tingkat superelevasi, e , masing-masing berkisar antara 0,10 sampai 0,15 dan 0,08 sampai 0,10.
12. (a) Jalan raya dua-lajur di luar kota yang melalui sebuah hutan mempunyai jarak penghalang yang terletak 20 ft dari garis pusat lajur bagian dalam. Jarak penglihatan yang tidak memadai telah mengakibatkan beberapa kecelakaan di ruas jalan ini, di mana jarak penglihatan ini harus mengatasi lengkungan horizontal 15 derajat, dengan batas kecepatan 45 mil/jam. Uraikan analisis Anda tentang masalah ini dan berikan saran Anda untuk mengatasi masalah ini.
(b) Berapakah batas kecepatan yang Anda sarankan pada ruas jalan raya ini?
13. Jalan raya dua-lajur yang rata di luar kota memiliki lengkungan horizontal 6 derajat. Berapakah tingkat superelevasi untuk membentuk gesekan samping maksimum yang diperbolehkan pada ruas jalan ini dengan kecepatan desain 65 mil/jam? Dalam bentuk skema, tunjukkan suatu metode untuk mencapai superelevasi ini dengan cara memutar perkerasan ini di sekitar bagian luar tepi jalan. (Diasumsikan $\mu = 0,11$).
14. Susunlah suatu persamaan untuk jarak penglihatan untuk berhenti, S , yang dinyatakan dalam radius kelengkungan, R , dan ordinat tengah, M , dari rumus berikut:

$$M = \frac{5730}{D} \text{vers} \frac{SD}{200}$$

di mana D adalah derajat kelengkungan dan $\theta = 1 - \cos q$.

15. Hitunglah panjang minimum dari sebuah lengkungan vertikal puncak yang menghubungkan kemiringan -3% dengan kemiringan +2% pada suatu jalan raya. Tentukan apakah kecepatan 65 mil/jam dapat dipertahankan pada ruas jalan ini. Buatlah asumsi yang diperlukan.
16. (a) Desain jalan raya meliputi persimpangan antara kemiringan +4,8% dengan kemiringan -4,2% pada stasiun 1.052 + 75 pada ketinggian 851,5 ft di atas permukaan laut. Hitunglah ketinggian garis pusat di sepanjang jalan raya ini untuk setiap stasiun 50 ft pada sebuah lengkungan vertikal parabola sepanjang 600 ft.
(b) Berapakah jarak penglihatan minimum untuk berhenti pada lengkungan vertikal dan kecepatan aman maksimum pada ruas ini untuk kondisi perkerasan yang basah?
17. Sebuah jalan raya di Seattle, Washington melintasi sebuah danau dan memiliki fluktuasi arus lalu-lintas yang biasa-biasa saja. Tentukan arus unidireksional puncak jika proyeksi ADT adalah 60.000 kendaraan/hari dan distribusi direksionalnya adalah 60%.
18. Pada salah satu ruas melengkung dari sebuah jalan raya dua-lajur di luar kota di Willamette Valley, jarak penglihatannya adalah 1.000 ft dan lengkungannya diberi rambu dan diberi marka sebagai zona mendahului. Apakah zona untuk mendahului ini harus digunakan dengan dikombinasikan dengan batas kecepatan 50 mil/jam? Jika tidak berapakah kecepatan maksimum untuk jarak penglihatan untuk mendahului pada ruas 1.000 ft tersebut?

Kapasitas Jalan Raya

1. PENDAHULUAN

Pada Bab 5 kita terutama membahas hubungan antara kecepatan, kepadatan, dan tingkat arus untuk kendaraan-kendaraan yang dikendalikan baik secara terpusat maupun secara individual. Di samping itu, telah dibahas pula dua kategori arus lalu-lintas, yaitu arus terhenti (*interrupted flow*) dan arus tak terhenti (*uninterrupted flow*). Salah satu kesimpulan yang diperoleh dari pengamatan karakteristik arus lalu-lintas adalah ketika tingkat arus mendekati optimum (atau mendekati kapasitas), kepadatan akan cenderung terjadi, mengakibatkan kemacetan. Dalam Bab ini, kita akan menggunakan konsep-konsep ini dalam keadaan yang sebenarnya.

Bayangkanlah suatu kendaraan melintas di sebuah ruas jalan tol (*freeway*) pada pukul 03:00 dini hari. Kebetulan kendaraan ini adalah satu-satunya kendaraan yang melintas. Seandainya si pengemudi tidak menghiraukan batas kecepatan, ia dapat mengemudi pada kecepatan yang dikehendaknya sesuai dengan kondisi dan karakteristik kendaraan, kemampuan pengemudi, dan aspek-aspek geometris ruas jalan tersebut. Pengemudi ini bisa saja memilih untuk melaju pada kecepatan 90 mil/jam. Dalam kesempatan yang lain, ruas jalan tol ini bisa saja sangat macet pada pukul 17:00, di mana si pengemudi tertahan di salah satu lajur, merambat dengan kecepatan hampir 0, tanpa mampu berpindah lajur atau keluar dari jalan tol. Singkatnya, ruas jalan tol yang sama ini memberikan “kualitas pelayanan” yang berbeda kepada pengemudi (dan penumpang) bergantung pada seberapa besar kemacetan yang terjadi di salah satu ruas jalan tol. Konsep-konsep—kapasitas dan “kualitas” atau tingkat pelayanan—ini sangatlah berguna dan penting bagi insinyur transportasi. Konsep-konsep ini telah memperluas penggunaan prosedur-prosedur analisis operasional, dan menciptakan suatu skala kualitas yang telah menjadi bagian integral dari profesi teknik jalan raya. Bahkan para penentu kebijakan dan kelompok masyarakat menggunakan konsep ini sebagai kata kunci ketika mereka berkomunikasi dengan insinyur jalan raya, demikian pula sebaliknya.

Bab ini menguraikan definisi-definisi dan konsep-konsep dasar yang berhubungan dengan kapasitas dan tingkat pelayanan. Dibahas pula prosedur untuk menentukan kapasitas dan tingkat pelayanan dari fasilitas-fasilitas transportasi arus terhenti; jalan tol, jalan raya multi-lajur, dan jalan raya dua-lajur. Fasilitas arus lalu-lintas yang tidak bebas hambatan, seperti persimpangan dan jalan arteri yang diberi rambu, akan dibahas pada Bab 9.

2. KAPASITAS JALAN RAYA DAN TINGKAT PELAYANAN

Moda-moda transportasi yang menggunakan jalan raya dan dikendalikan oleh pengemudi perorangan dikategorikan sebagai moda transportasi yang dikontrol secara individual. *Highway Capacity Manual* (HCM) (TRB, 2000) adalah referensi standar yang digunakan dalam permasalahan ini. Selama bertahun-tahun, HCM berhasil mengumpulkan teknik-teknik mutakhir yang telah terbukti kemampuannya dalam memperkirakan kapasitas jalan raya.

Beberapa tipe utama fasilitas transportasi dan kategori pengguna jalan dijelaskan di dalam HCM:

1. Fasilitas arus tak berhenti:
 - a. Jalan tol (*freeway*)
 - b. Jalan raya multi-lajur (*multilane highway*)
 - c. Jalan raya dua-lajur (*two-lane highway*)
2. Fasilitas arus berhenti:
 - a. Persimpangan dengan lampu lalu-lintas
 - b. Persimpangan tanpa lampu lalu-lintas
 - c. Jalan perkotaan
3. Pengguna jalan lainnya:
 - a. Angkutan umum (*transit*)
 - b. Pejalan kaki
 - c. Sepeda

Analisis terhadap fasilitas-fasilitas ini berbeda-beda. Bagaimanapun juga, perlu diperhatikan bahwa rincian yang diuraikan oleh HCM tentang angkutan umum, sepeda, dan pejalan kaki lebih berfokus pada aspek-aspeknya yang berhubungan dengan pergerakan yang menggunakan jalan/jalan raya. Secara umum, “kapasitas dari suatu fasilitas adalah jumlah per-jam maksimum di mana orang atau kendaraan diperkirakan akan dapat melintasi sebuah titik atau suatu ruas jalan selama periode waktu tertentu pada kondisi jalan, lalu-lintas, dan pengendalian biasa” (TRB, 2000). Yang dimaksud dengan kondisi-kondisi jalan adalah jenis fasilitas, karakteristik geometrisnya, jumlah lajur (berdasarkan arah), lebar lajur dan lebar bahu jalan, clearance lateral, kecepatan desain, alinyemen horizontal dan vertikal, dan ketersediaan jarak antrian di persimpangan. Kondisi-kondisi lalu-lintas di sini adalah distribusi jenis kendaraan yang menggunakan fasilitas, jumlah dan distribusi kendaraan pada lajur suatu jalan, dan distribusi arahnya. Jenis dan desain dari perangkat-perangkat pengendalian (seperti lampu lalu-lintas dan waktu-waktu berlakunya) dan peraturan lalu-lintas pada fasilitas tersebut adalah faktor-faktor yang mempengaruhi kondisi pengendalian (TRB, 2000).

Tingkat pelayanan (*level of service*, LOS) adalah suatu ukuran kualitatif yang menjelaskan kondisi-kondisi operasional di dalam suatu aliran lalu-lintas dan persepsi dari pengemudi dan/atau penumpang terhadap kondisi-kondisi tersebut. Faktor-faktor seperti kecepatan dan waktu tempuh, kebebasan bermanuver, perhentian lalu-lintas, dan kemudahan serta kenyamanan adalah kondisi-kondisi yang mempengaruhi LOS. Setiap fasilitas dapat dievaluasi berdasarkan enam tingkat pelayanan, A sampai F, di mana A merepresentasikan kondisi operasional terbaik dan F untuk kondisi terburuk (TRB, 2000).

Tingkat maksimum arus yang dapat diakomodasi oleh suatu fasilitas pada setiap LOS (terkecuali LOS F) disebut sebagai tingkat arus pelayanan dari fasilitas tersebut. Dengan demikian, setiap fasilitas mempunyai lima tingkat arus pelayanan, sesuai dengan masing-masing LOS (A sampai E). Tingkat arus pelayanan untuk suatu LOS tertentu adalah tingkat per-jam

maksimum di mana orang atau kendaraan biasanya diperkirakan akan dapat melalui sebuah titik atau ruas yang seragam pada suatu lajur atau jalan selama periode waktu tertentu pada kondisi jalan, lalu-lintas, dan kondisi kontrol biasa. Periode waktu yang digunakan biasanya adalah 15 menit. Biasanya, tingkat arus pelayanan per-jam didefinisikan sebagai empat kali volume 15-menit yang tertinggi.

Perlu dicatat bahwa setiap LOS merepresentasikan sekumpulan kondisi yang didefinisikan oleh satu atau lebih parameter operasional. Meskipun konsep LOS berupaya untuk mencakup banyak kondisi operasi, keterbatasan dalam hal pengumpulan data dan ketersediaannya membuat upaya untuk meninjau semua parameter operasional untuk setiap jenis fasilitas-transportasi menjadi tidak praktis. Parameter-parameter yang dipilih untuk menentukan LOS untuk setiap jenis fasilitas disebut ukuran keefektifan (*measures of effectiveness*, MOE). Pada gilirannya, MOE merepresentasikan ukuran-ukuran yang dapat memberi penjelasan terbaik mengenai kualitas operasi pada fasilitas tersebut. Sebagai contoh, kepadatan [banyaknya kendaraan penumpang per mil per lajur (pc/mi/ln)], kecepatan (kecepatan kendaraan-penumpang rata-rata), dan rasio volume-kapasitas (v/c) adalah MOE untuk ruas jalan tol dasar. Di lain pihak, persentase waktu tempuh dan rata-rata kecepatan tempuh adalah MOE yang digunakan untuk jalan raya dua-lajur (TRB, 2000).

3. STUDI-STUDI DASAR MENGENAI KAPASITAS JALAN TOL

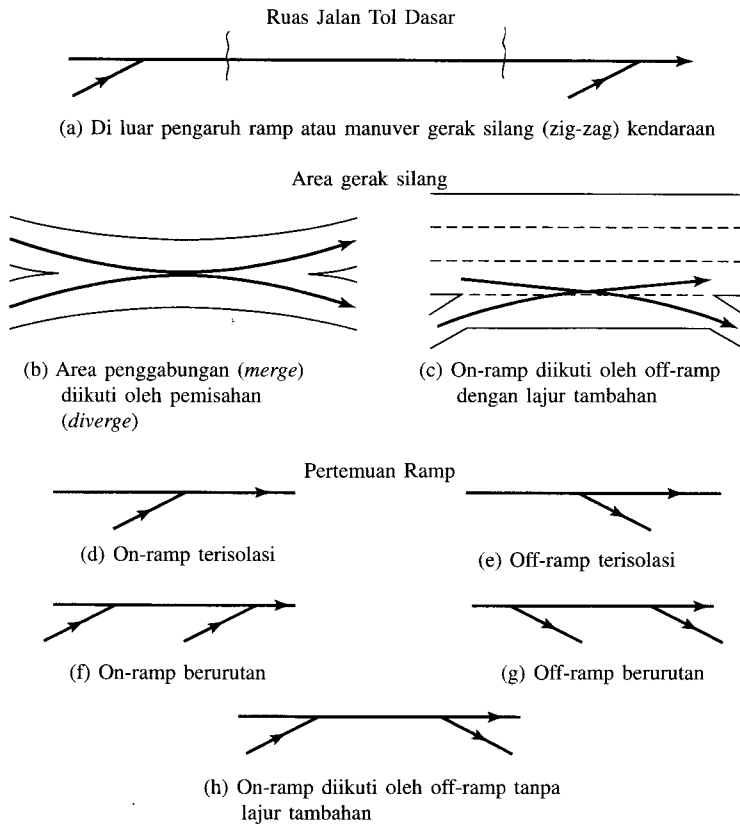
3.1 Definisi

Jalan tol (*freeway*) adalah fasilitas jalan raya yang mempunyai dua lajur atau lebih di setiap arah agar lalu-lintas berlangsung secara eksklusif, dengan pengendalian penuh atas akses dan egres. Dalam tingkatan jalan raya, jalan tol adalah satu-satunya fasilitas yang menyediakan arus bebas-hambatan yang sempurna. Jalan tol tersusun atas tiga subkomponen, yaitu ruas jalan tol dasar, area percabangan, dan pintu tol. Gambar 7-1 memperlihatkan ketiga subkomponen tersebut. Yang dibahas di sini hanyalah bagian-bagian jalan tol yang dasar saja.

Kapasitas jalan tol adalah tingkat maksimum arus (15 menit) kendaraan per-jam (kendaraan/jam) di mana lalu-lintas dapat melalui sebuah titik atau ruas yang sama dari suatu jalan tol di bawah kondisi jalan dan lalu-lintas biasa. Karakteristik jalan meliputi jumlah dan lebar lajur, clearance lateral bahu-jalan, ruang percabangan, kelandaian, dan konfigurasi lajur. Kondisi lalu-lintas meliputi persentase komposisi lalu-lintas berdasarkan jenis kendaraan, dan karakteristik pengemudi (seperti para *commuter* dan pengendara rekreasional).

3.2 Karakteristik Arus Lalu-Lintas di Jalan Tol

Arus lalu-lintas di dalam suatu ruas jalan tol dasar secara umum dapat dibagi menjadi tiga tipe: (1) arus tidak padat (*undersaturated flow*), (2) arus antrian (*queue discharge flow*) dan (3) arus sangat padat (*oversaturated flow*). Tiap tipe arus mewakili kondisi yang berbeda-beda di jalan tol dan dapat ditentukan berdasarkan rentang kecepatan-arus-kepadatan. Arus tak padat merepresentasikan arus lalu-lintas yang tidak terpengaruh oleh kondisi aliran. Pada tingkat arus rendah sampai menengah, tipe arus ini umumnya didefinisikan berada dalam rentang kecepatan 55 sampai 75 mil/jam, dan pada tingkat arus tinggi, antara 45 sampai 60 mil/jam. Arus antrian adalah arus lalu-lintas setelah bergerak melalui leher botol dan dalam proses percepatan kembali ke kecepatan arus-bebas dari jalan tol. Arus jenis ini biasanya memiliki rentang arus yang sempit, yaitu 2.000 sampai 2.300 kendaraan penumpang/jam/lajur (pc/h/ln), dengan laju yang terletak pada rentang 35 mil/jam hingga mencapai kecepatan arus-bebas. Percepatan menuju



Gambar 7-1 Komponen-komponen Jalan Tol.

kecepatan arus-bebas ini dapat terjadi pada jarak 0,5 sampai 1 mil searah aliran dari penyempitan tersebut. Tingkat berkurangnya antrian sekitar 5% lebih rendah daripada tingkat arus-bebas. Arus sangat padat merepresentasikan arus lalu-lintas yang dipengaruhi oleh efek leher botol. Arus dapat bervariasi seperti halnya kecepatan. Panjang suatu antrian kendaraan bisa mencapai ribuan feet. Berikut ini sejumlah persyaratan dasar untuk ruas jalan-tol dasar:

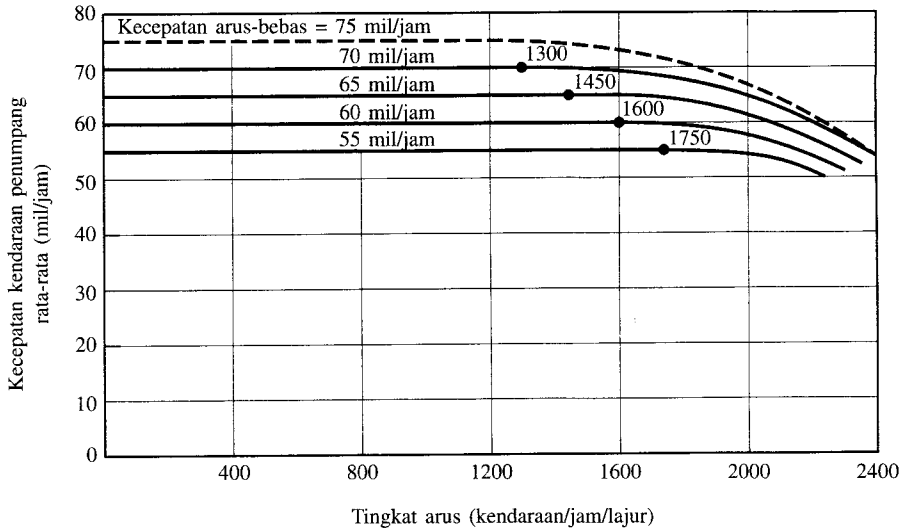
- Lebar lajur minimum 12 feet
- Clearance lateral bahu jalan minimum 6 feet antara tepian lajur-jalan dan hambatan terdekat yang mempengaruhi perilaku lalu-lintas; clearance lateral median minimum adalah 2 feet
- Seluruh kendaraan di dalam aliran lalu-lintas adalah kendaraan penumpang
- 10 lajur atau lebih
- Jarak antar simpang-susun (*interchange*) sebesar 2 mil atau lebih
- Permukaan jalan datar, dengan kelandaian tidak lebih dari 2%
- Populasi pengemudi terutama terdiri dari pengguna regular fasilitas jalan tol

Kondisi-kondisi dasar di atas merepresentasikan suatu tingkat operasi yang tinggi, yaitu tingkat dengan kecepatan arus-bebas 70 mil/jam atau lebih. Kondisi jalan dan lalu-lintas, seiring dengan perubahannya terhadap kondisi dasar, juga akan mempengaruhi kecepatan arus-bebas.

Gambar 7-2 memperlihatkan hubungan kecepatan-arus untuk kecepatan arus-bebas pada ruas dasar jalan tol dalam kondisi dasar pula.

7.3.3 Kecepatan Arus-Bebas

Kecepatan arus-bebas adalah kecepatan rata-rata kendaraan pada suatu fasilitas jalan ketika



Gambar 7-2 Hubungan Kecepatan-Arus untuk Ruas Jalan Tol Dasar (TRB, 2000).

pengemudi cenderung untuk berkendara pada kecepatan yang dikehendakinya dan tidak dihambat oleh adanya rambu-rambu pengontrol. Kecepatan arus-bebas dapat diukur sebagai kecepatan rata-rata kendaraan penumpang selama arus rendah hingga sedang (sampai dengan 1.300 pc/h/ln). Penelitian dewasa ini menunjukkan bahwa kecepatan pada ruas jalan tol relatif konstan pada tingkat-tingkat arus di rentang ini. Gambar 7-2 memperlihatkan kecepatan akan konstan untuk tingkat arus hingga 1.300 kendaraan/jam/lajur untuk kecepatan arus-bebas 70 mil/jam. Untuk jalan tol dengan kecepatan arus-bebas yang lebih rendah, kecepatan tetap konstan meskipun tingkat arusnya lebih tinggi. Pengaruh ini menjadi jelas terlihat dengan diberlakukannya syarat kecepatan 55 mil/jam pada jalan tol di perkotaan. Kurva 70 mil/jam pada Gambar 7-2 mewakili kondisi-kondisi dasar.

3.3.1 Kapasitas Kurva-kurva pada Gambar 7-2 memperlihatkan dua daerah arus:

1. Daerah arus di mana kecepatan tidak terpengaruh oleh kenaikan tingkat arus. Rentang ini berkisar dari 1.300 pc/h/ln untuk jalan tol 70 mil/jam, dan 1750 pc/h/ln untuk jalan tol 55 mil/jam.
2. Daerah arus di mana kenaikan tingkat arus mengakibatkan penurunan kecepatan. Pada kondisi lalu-lintas dan kondisi jalan yang dasar, jalan tol akan beroperasi dengan kapasitas 2.400 pc/h/ln. Kapasitas ini akan tercapai khususnya pada jalan tol dengan kecepatan arus bebas 70 mil/jam atau lebih. Nilai kapasitasnya bervariasi tergantung kecepatan arus-bebas dari jalan tolnya. Kapasitas minimumnya 2.250 pc/h/ln, mewakili kecepatan arus-bebas 55 mil/jam. Kapasitas untuk kecepatan arus-bebas 65 dan 60 mil/jam masing-masing adalah 2.350 dan 2.300 pc/h/ln. Gambar 7-2 memperlihatkan arus kapasitas dapat terjadi pada rentang kecepatan dari 50 sampai 53 mil/jam, tergantung dari kecepatan arus-bebas pada fasilitas tersebut. Penurunan kecepatan, dengan meningkatnya arus, akan lebih kecil pada ruas jalan tol dengan kecepatan arus-bebas rendah dibandingkan dengan kecepatan arus-bebas tinggi. Kepadatan pada kapasitas akan stabil pada 45 pc/mi/ln pada seluruh kecepatan arus-bebas.

3.4 Tingkat Pelayanan

Meskipun kecepatan adalah perhatian utama dari para pengemudi yang menggunakan jalan tol, namun kecepatan ini hampir konstan untuk suatu rentang arus yang luas. Kebebasan untuk bermanuver di dalam aliran lalu-lintas dan jarak dengan kendaraan lain sama pentingnya dan lebih sering digunakan daripada kecepatan dalam menjelaskan tingkat pelayanan. Di samping itu, kepadatan meningkat pada seluruh rentang arus hingga tercapainya kapasitas, sehingga menyediakan ukuran keefektivan yang lebih baik. Kepadatan yang digunakan untuk menentukan tingkat pelayanan pada ruas-ruas jalan tol dasar adalah sebagai berikut:

Tingkat Pelayanan	Rentang Kepadatan (kendaraan penumpang/mil/lajur)
A	0–11
B	12–18
C	19–26
D	27–35
E	36–45
F	> 45

Kriteria-kriteria tingkat pelayanan ruas jalan tol dasar diperlihatkan pada Tabel 7-1. Di dalam tingkat pelayanan tertentu, kriteria kepadatan harus sesuai. Gambar 7-3 mengilustrasikan hubungan antara kecepatan, arus, dan kepadatan untuk ruas jalan tol dasar yang beroperasi pada kondisi dasar. Berbagai tingkat pelayanan diperlihatkan dengan menggunakan nilai-nilai batas kepadatan. Tabel 7-1 atau Gambar 7-3 dapat digunakan untuk menentukan tingkat pelayanan.

- **LOS A:** Sepenuhnya arus-bebas; yang ada adalah kecepatan arus-bebas; kendaraan dapat bermanuver dengan mudah di dalam aliran lalu-lintas; spacing rata-rata 528 feet. Pengaruh kecelakaan hanya bersifat lokal dan jarang terjadi.
- **LOS B:** Mendekati arus-bebas; umumnya kecepatan arus-bebas; kemampuan untuk bermanuver di dalam aliran lalu-lintas sedikit terbatas; spacing rata-rata 330 feet. Dampak dari kecelakaan kecil dan masih dapat ditanggulangi dengan mudah.
- **LOS C:** Memungkinkan aliran arus dengan kecepatan yang masih pada atau mendekati kecepatan arus-bebas; kebebasan bermanuver di dalam aliran lalu-lintas semakin terbatas dan perpindahan lajur membutuhkan kewaspadaan pengemudi; spacing rata-rata 220 feet. Bahaya lokal akibat kecelakaan cukup besar dan biasanya akan terjadi antrian di belakang suatu penghalang yang signifikan. Kecelakaan kecil masih dapat dikendalikan.
- **LOS D:** Kecepatan mulai sedikit menurun dengan peningkatan arus; kepadatan mulai meningkat agak cepat; kebebasan manuver semakin terbatas; spacing rata-rata 165 feet. Kecelakaan kecil saja dapat mengakibatkan antrian.
- **LOS E:** Menggambarkan operasi pada kapasitas kepadatan tertinggi; operasi mengkhawatirkan dan hampir tidak terdapat jeda (*gap*) yang dapat dimanfaatkan pada aliran lalu-lintas; kemampuan manuver dalam aliran lalu-lintas sangat rendah; spacing rata-rata 110 kaki pada kecepatan yang masih di atas 49 mil/jam. Kecelakaan dapat mengakibatkan kemacetan serius dengan antrian yang panjang. Tingkat kenyamanan fisik dan psikologis pengemudi menjadi relatif buruk. Gangguan tertentu pada aliran lalu-lintas seperti kendaraan yang masuk dari pintu tol dan kendaraan yang berpindah lajur, dapat mengakibatkan kemacetan yang sangat panjang.
- **LOS F:** Menggambarkan terhentinya arus kendaraan pada titik kemacetan seperti di pertemuan jalur, kondisi penyalipan atau perbaikan lajur. Kemacetan ini dapat pula disebabkan oleh kecelakaan lalu-lintas. Dalam banyak kasus, terhentinya arus terjadi ketika perbanding-

Tabel 7-1 Kriteria LOS untuk Ruas Jalan Tol Dasar

Kriteria	Tingkat Pelayanan (LOS)				
	A	B	C	D	E
FFS = 75 mil/jam					
Kepadatan maksimum (pc/mi/ln)	11	18	26	35	45
Kecepatan minimum (mil/jam)	75,0	74,8	70,6	62,2	53,3
Rasio volume-kapasitas (v/c) maksimum	0,34	0,56	0,76	0,90	1,00
Tingkat arus pelayanan maksimum (pc/h/ln)	820	1350	1830	2170	2400
FFS = 70 mil/jam					
Kepadatan maksimum (pc/mi/ln)	11	18	26	35	45
Kecepatan minimum (mil/jam)	75,0	70,0	68,2	61,5	53,3
Rasio volume-kapasitas (v/c) maksimum	0,32	0,53	0,74	0,90	1,00
Tingkat arus pelayanan maksimum (pc/h/ln)	770	1260	1770	2150	2400
FFS = 65 mil/jam					
Kepadatan maksimum (pc/mi/ln)	11	18	26	35	45
Kecepatan minimum (mil/jam)	65,0	65,0	64,6	59,7	52,2
Rasio volume-kapasitas (v/c) maksimum	0,30	0,50	0,71	0,89	1,00
Tingkat arus pelayanan maksimum (pc/h/ln)	710	1170	1680	2090	2350
FFS = 60 mil/jam					
Kepadatan maksimum (pc/mi/ln)	11	18	26	35	45
Kecepatan minimum (mil/jam)	60,0	60,0	60,0	57,6	51,1
Rasio volume-kapasitas (v/c) maksimum	0,29	0,47	0,68	0,88	1,00
Tingkat arus pelayanan maksimum (pc/h/ln)	660	1080	1560	2020	2300
FFS = 65 mil/jam					
Kepadatan maksimum (pc/mi/ln)	11	18	26	35	45
Kecepatan minimum (mil/jam)	55,0	55,0	55,0	54,7	50,0
Rasio volume-kapasitas (v/c) maksimum	0,27	0,44	0,64	0,85	1,00
Tingkat arus pelayanan maksimum (pc/h/ln)	600	990	1430	1910	2250

Catatan: Hubungan matematis yang pasti antara kepadatan dan v/c tidak selalu dapat dipertahankan pada batas LOS karena penggunaan nilai pembulatan. Kepadatan adalah penentu utama LOS. Kriteria kecepatan adalah kecepatan pada kepadatan maksimum untuk LOS tertentu.

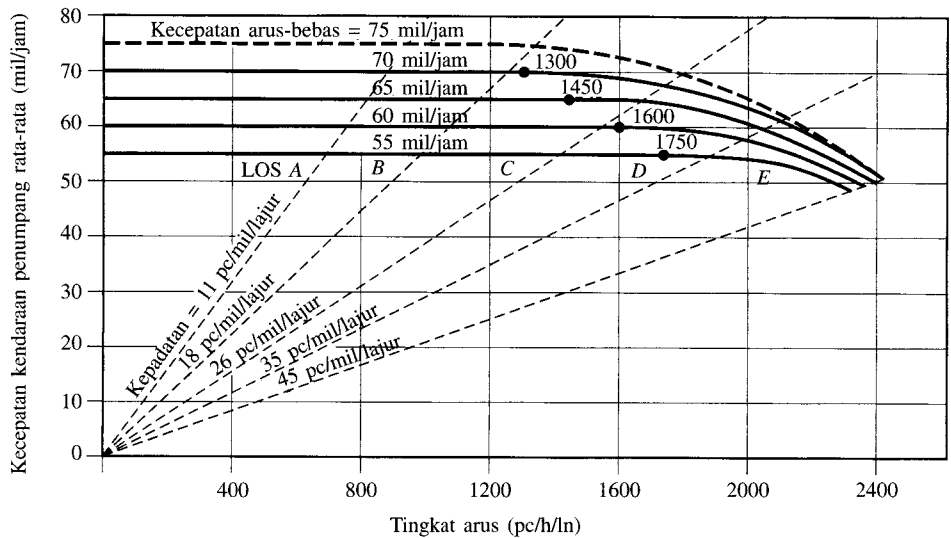
Sumber: TRB, 2000.

an antara tingkat arus datang dengan kapasitas aktual telah melebihi 1,0. Operasi LOS F di dalam suatu antrian adalah akibat dari suatu kemacetan atau penyempitan pada arah arus tersebut. LOS F juga menggambarkan kondisi-kondisi di titik penyempitan dan arus pelepasan antrian yang terjadi pada kecepatan di bawah 50 mil/jam. Kapanpun kondisi ini terjadi, terdapat kemungkinan peningkatan panjang antrian yang cukup besar.

3.5 Penggunaan *Highway Capacity Manual*

Penentuan tingkat pelayanan untuk ruas dasar jalan tol umumnya melibatkan tiga komponen, yaitu (1) tingkat arus, (2) kecepatan arus-bebas, dan (3) tingkat pelayanan. Satu perhitungan tingkat arus kendaraan yang sepadan dilakukan dengan menggunakan Persamaan (1) untuk memasukkan pula efek kendaraan berat dan berbagai variasi arus lalu-lintas selama jam tertentu dalam aliran lalu-lintas.

$$v_p = \frac{V}{PHF \times N \times f_{HV} \times f_p} \quad (1)$$



Gambar 7-3 Kurva Kecepatan-Arus dan LOS untuk Ruas Jalan Tol Dasar (TRB, 2000).

di mana

v_p = tingkat arus kendaraan penumpang 15 menit (pc/h/ln)

$\bar{V}$ = volume per-jam (kendaraan/jam)

PHF = Peak Hour Factor (faktor jam-puncak)

N = jumlah lajur

f_{HV} = faktor penyesuaian kendaraan berat, dan

f_p = faktor populasi pengemudi

Pengamatan arus lalu-lintas secara konsisten menunjukkan bahwa tingkat-tingkat arus yang dijumpai dalam periode 15-menit puncak di dalam 1 jam tidak bertahan lama sepanjang 1 jam tersebut. Faktor jam-puncak dalam Persamaan (1) adalah faktor penyebab fenomena ini. Di jalan tol, faktor jam-puncak biasanya berkisar dari 0,8 sampai 0,95. Faktor jam-puncak rendah biasanya terdapat pada jalan tol di luar kota atau pada kondisi di luar jam-puncak. Faktor yang lebih tinggi biasanya terjadi pada kondisi jam puncak di perkotaan atau di pinggiran kota. Jika data setempat tidak tersedia, nilai 0,88 dan 0,92 dapat digunakan masing-masing untuk kondisi jam-puncak di perkotaan/pinggiran kota.

Volume lalu-lintas jalan tol yang melibatkan berbagai tipe kendaraan harus disesuaikan ke suatu tingkat arus sepadan yang dinyatakan dalam kendaraan penumpang/jam/lajur. Penyesuaian untuk kehadiran kendaraan berat pada aliran lalu-lintas diberlakukan untuk truk, bis, dan kendaraan rekreasi (*recreational vehicles/RV*). Truk dan bis diperlakukan sama. Kita menggunakan proses dua-tahap untuk menentukan f_{HV} . Ekuivalen kendaraan penumpang yang sepadan dengan truk/bis (E_T) dan kendaraan rekreasi (E_R) dihitung juga untuk kondisi lalu-lintas dan jalan yang sedang dipelajari. Dengan menggunakan nilai E_T dan E_R beserta proporsi dari tiap jenis kendaraan pada aliran lalu-lintas (P_T dan P_R), maka faktor penyesuaian f_{HV} dapat dihitung. Dampak kendaraan berat pada arus lalu-lintas bergantung pada kondisi kelandaian dan komposisi lalu-lintas.

Ekuivalen-equivalen kendaraan penumpang dapat dipilih untuk salah satu dari ketiga kondisi di bawah ini:

1. *Ruas jalan tol yang diperpanjang*: seringkali kita sebaiknya memandang suatu perpanjangan jalan tol yang terdiri dari sejumlah jalan menaik, jalan menurun, dan permukaan yang rata sebagai satu bagian tunggal yang uniform. Sebagai aturan, bagian-bagian yang diperpanjang dapat digunakan di mana tidak ada kelandaian sebesar 3% atau lebih yang lebih panjang daripada 0,25 mil atau di mana tidak ada kelandaian yang lebih kecil daripada 3% yang lebih panjang dari 0,5 mil. Ruas jalan tol biasa yang diperpanjang dapat diklasifikasikan

Tabel 7-2 Padanan Kendaraan Penumpang pada Ruas Jalan Tol yang Diperpanjang

Faktor	Jenis Permukaan		
	Rata	Bergelombang	Pegunungan
E_T (truk dan bis)	1,5	2,5	4,5
E_R (kendaraan rekreasi)	1,2	2,0	4,0

Sumber: TRB, 2000

Tabel 7-3 Padanan Kendaraan Penumpang untuk Truk dan Bis pada Jalan Menanjak

Jalan menanjak (%)	Panjang (mil)	E_T								
		Persentase Truk dan Bis								
		2	4	5	6	8	10	15	20	25
<2	Semua	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5
≥2–3	0,00–0,25	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5
	>0,25–0,50	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5
	>0,50–0,75	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5
	>0,75–1,00	2,0	2,0	2,0	2,0	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5
	>1,00–1,50	2,5	2,5	2,5	2,5	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0
	>1,50	3,0	3,0	2,5	2,5	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0
>3–4	0,00–0,25	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5
	>0,25–0,50	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	1,5	1,5	1,5
	>0,50–0,75	2,5	2,5	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0
	>0,75–1,00	3,0	3,0	2,5	2,5	2,5	2,5	2,0	2,0	2,0
	>1,00–1,50	3,5	3,5	3,0	3,0	3,0	3,0	2,5	2,5	2,5
	>1,50	4,0	3,5	3,0	3,0	3,0	3,0	2,5	2,5	2,5
>4–5	0,00–0,25	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5
	>0,25–0,50	3,0	2,5	2,5	2,5	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0
	>0,50–0,75	3,5	3,0	3,0	3,0	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5
	>0,75–1,00	4,0	3,5	3,5	3,5	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0
	>1,00	5,0	4,0	4,0	4,0	3,5	3,5	3,0	3,0	3,0
>5–6	0,00–0,25	2,0	2,0	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5
	>0,25–0,30	4,0	3,0	2,5	2,5	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0
	>0,30–0,50	4,5	4,0	3,5	3,0	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5
	>0,50–0,75	5,0	4,5	4,0	3,5	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0
	>0,75–1,00	5,5	5,0	4,5	4,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0
	>1,00	6,0	5,0	5,0	4,5	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5
>6	0,00–0,25	4,0	3,0	2,5	2,5	2,5	2,5	2,0	2,0	2,0
	>0,25–0,30	4,5	4,0	3,5	3,5	3,5	3,0	2,5	2,5	2,5
	>0,30–0,50	5,0	4,5	4,0	4,0	3,5	3,0	2,5	2,5	2,5
	>0,50–0,75	5,5	5,0	4,5	4,5	4,0	3,5	3,0	3,0	3,0
	>0,75–1,00	6,0	5,5	5,0	5,0	4,5	4,0	3,5	3,5	3,5
	>1,00	7,0	6,0	5,5	5,5	5,0	4,5	4,0	4,0	4,0

Sumber: TRB, 2000.

lagi menjadi permukaan/medan rata, bergelombang, dan pegunungan. Permukaan rata meliputi kelayakan yang pendek yang tidak lebih dari 2%. Permukaan bergelombang mengakibatkan kendaraan berat mengalami pengurangan kecepatan sehingga berada di bawah kecepatan kendaraan penumpang, tetapi tidak sampai harus merambat naik untuk waktu yang lama, yang merupakan ciri permukaan jalan di pegunungan. Lihat Tabel 7-2 untuk mengetahui nilai E_T dan E_R untuk ruas jalan tol yang diperpanjang.

2. *Kelayakan khusus*: kelayakan yang kurang dari 3% dan lebih panjang dari 0,5 mil, atau kelayakan yang lebih besar dari 3% dan lebih panjang dari 0,25 mil biasanya dianalisis sebagai satu ruas yang terpisah. Tabel 7-3 dan 7-4 memberikan nilai E_T dan E_R untuk bagian-bagian menanjak tertentu. Prosedur-prosedurnya menggunakan ekuivalen kendaraan penumpang yang dikalibrasi untuk campuran truk/bis, yang mempunyai perbandingan berat-tenaga antara 125 dan 150 lb/hp. Perbandingan berat-tenaga yang tipikal dari kendaraan rekreasi berkisar dari 30 sampai 60 lb/hp.

3. Terdapat sedikit data spesifik tentang efek kendaraan berat terhadap arus lalu-lintas pada suatu jalan menurun. Secara umum, jika turunan tidak terlalu curam sehingga truk harus menggunakan persneling rendah, maka jalan menurun tersebut dapat digolongkan ke dalam ruas-ruas permukaan yang rata. Apabila turunannya lebih buruk, gunakan Tabel 7-5 untuk memilih nilai E_T pada jalan menurun. Untuk kendaraan rekreasi, jalan menurun dapat digolongkan sebagai permukaan yang rata. Jika terdapat sederetan kelayakan yang kontinu pada alinyemen jalan-tol, kita gunakan kelayakan rata-rata pada titik yang ditinjau. Kelayakan rata-rata ini dihitung dengan membagi tinggi total (feet) mulai dari permulaan kelayakan gabungan dengan panjang kelayakan (feet). Teknik kelayakan rata-rata dapat digunakan untuk kelayakan-kelayakan di mana seluruh subbagian lebih kecil daripada 4%, atau panjang total dari kelayakan gabungannya lebih kecil daripada 4.000 feet. Untuk kelayakan yang lebih tajam, HCM menyediakan teknik detil yang didasarkan pada kurva performa kendaraan dan kecepatan yang ekuivalen.

Faktor penyesuaian, f_{HV} , untuk kendaraan berat dapat dihitung dengan menggunakan persamaan berikut:

Tabel 7-4 Ekuivalen-ekuivalen Kendaraan Penumpang untuk Kendaraan Rekreasi pada Jalan Menanjak

Jalan menanjak (%)	Panjang (mil)	E_R								
		Persentase Kendaraan Rekreasi								
		2	4	5	6	8	10	15	20	25
≤2	Semua	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2
>2–3	0,00–0,50	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2
	>0,50	3,0	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,2	1,2	1,2
>3–4	0,00–0,25	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2
	>0,25–0,50	2,5	2,5	2,0	2,0	2,0	2,0	1,5	1,5	1,5
	>0,50	3,0	2,5	2,5	2,5	2,0	2,0	2,0	1,5	1,5
>4–5	0,00–0,25	2,5	2,0	2,0	2,0	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5
	>0,25–0,50	4,0	3,0	3,0	3,0	2,5	2,5	2,0	2,0	2,0
	>0,50	4,5	3,5	3,0	3,0	3,0	2,5	2,5	2,0	2,0
>5	0,00–0,25	4,0	3,0	2,5	2,5	2,5	2,0	2,0	2,0	1,5
	>0,25–0,50	6,0	4,0	4,0	3,5	3,0	3,0	2,5	2,5	2,0
	>0,50	6,0	4,5	4,0	4,0	3,5	3,0	3,0	2,5	2,0

Sumber: TRB, 2000.

Tabel 7-5 Padanan Kendaraan Penumpang untuk Truk dan Bis pada Jalan Menurun

Jalan menurun (%)	Panjang (mil)	E_T			
		Persentase truk			
		5	10	15	20
>4	Semua	1,5	1,5	1,5	1,5
4-5	≤ 4	1,5	1,5	1,5	1,5
4-5	> 4	2,0	2,0	2,0	1,5
>5-6	≤ 4	1,5	1,5	1,5	1,5
>5-6	> 4	5,5	4,0	4,0	3,0
>6	≤ 4	1,5	1,5	1,5	1,5
>6	> 4	7,5	6,0	5,5	4,5

Sumber: TRB, 2000.

$$f_{HV} = \frac{1}{1 + P_T (E_T - 1) + P_R (E_R - 1)} \quad (2)$$

di mana

- f_{HV} = faktor penyesuaian kendaraan berat
 E_T, E_R = padanan kendaraan-penumpang untuk truk/bis dan untuk kendaraan rekreasi di dalam aliran lalu-lintas
 P_T, P_R = proporsi truk/bis dan kendaraan rekreasi di dalam aliran lalu-lintas

Dalam banyak kasus di mana kendaraan rekreasi menunjukkan persentase yang kecil, akan lebih mudah apabila kita menggolongkan seluruh kendaraan berat sebagai truk. Maka, aliran lalu lintas yang terdiri dari 14% truk, 3% kendaraan rekreasi, dan 1% bis dapat dianalisis sebagai 18% truk. Cara ini boleh dilakukan apabila persentase truk dan bis di dalam aliran lalu-lintas paling tidak lima kali persentase keberadaan kendaraan rekreasi.

3.5.1 Penentuan Kecepatan Arus-Bebas Kecepatan rata-rata kendaraan-penumpang yang diukur pada arus rendah hingga arus sedang, yaitu hingga 1.300 pc/h/ln, adalah kecepatan arus-bebas (*free-flow speed*, FFS). Di dalam rentang tingkat arus ini, kecepatan-kecepatan akan mendekati konstan untuk suatu ruas spesifik jalan tol. FFS dapat dihitung secara langsung di lapangan atau diestimasi dengan menggunakan petunjuk yang disediakan oleh *Highway Capacity Manual* (TRB, 2000). Untuk pengukuran lapangan, pengamatan harus dilakukan pada suatu lokasi yang representatif di dalam bagian yang dievaluasi. Suatu sampel sistematis yang setidaknya terdiri dari 100 mobil dari seluruh lajur selama jam-jam normal dapat menghasilkan pengukuran yang memuaskan. Jika data pengukuran lapangan digunakan, tidak ada penyesuaian yang harus dilakukan terhadap FFS, karena telah mencerminkan dampak nyata dari seluruh kondisi pada lokasi yang diamati. Jika pengukuran lapangan untuk FFS tidak memungkinkan, suatu perkiraan dapat dilakukan dengan menggunakan persamaan berikut:

$$FFS = BFFS - f_{LW} - f_{LC} - f_N - f_{ID} \quad (3)$$

di mana

- FFS = perkiraan kecepatan arus-bebas (mil/jam)
 BFFS = kecepatan arus-bebas dasar, 75 mil/jam (perkotaan) atau 75 mil/jam luar kota.
 f_{LW} = penyesuaian untuk bentuk lebar lajur dari Tabel 7-6 (mil/jam)
 f_{LC} = penyesuaian untuk clearance lateral bahu jalan dari Tabel 7-7 (mil/jam)

f_N = penyesuaian untuk jumlah lajur dari Tabel 7-8 (mil/jam)
 f_{ID} = penyesuaian untuk kepadatan interchange dari Tabel 7-9 (mil/jam)

Kecepatan arus-bebas dasar atau BFFS (70 atau 75 mil/jam) dikurangi dengan faktor-faktor penyesuaian dalam Tabel 7-6 sampai 7-9 ketika kondisi jalan berbeda dengan kondisi dasar. Tidak ada faktor penyesuaian yang disarankan untuk jarak bahu jalan kurang dari 2 kaki. Penyesuaian ini jarang terjadi sehingga disarankan meminta pendapat dari profesional. Hanya lajur utama yang dimasukkan ke dalam perhitungan jumlah lajur, baik kondisi dasar maupun tambahan. Lajur kendaraan dengan kepadatan tinggi atau *high occupancy vehicle* (HOV) tidak perlu dimasukkan. Penyesuaian di dalam Tabel 7-8 didasarkan secara khusus pada data yang dikumpulkan dari jalan tol di perkotaan dan di daerah pinggiran kota. Jalan tol daerah luar kota biasanya terdiri dari dua-lajur pada masing-masing arah. Nilai penyesuaian untuk jumlah lajur, f_N , adalah 0,0 apabila menggunakan Persamaan (3) untuk memperkirakan FFS jalan tol luar kota. Kepadatan interchange ditentukan pada ruas jalan tol 6 mil (3 mil melawan arus dan 3 mil searah arus) di mana ruas jalan tol yang sedang diamati terdapat. Suatu interchange ditentukan harus memiliki paling sedikit satu on-ramp.

3.5.2 Penentuan Tingkat Pelayanan Tingkat pelayanan pada bagian jalan tol dasar dapat ditentukan secara langsung dari Gambar 7-3 menggunakan FFS dan tingkat arus. Berikut ini adalah tahap-tahap untuk menentukan tingkat pelayanan:

1. Tentukan dan buatlah ruas-ruas dari jalan tol dengan semestinya.
2. Berdasarkan perhitungan atau perkiraan FFS, gambarkan kurva seperti yang diperlihatkan pada Gambar 7-3. Kurva tersebut harus memotong sumbu-y pada FFS.
3. Masukkan tingkat arus, v_p , pada sumbu horizontal dan bacalah kurva yang telah ditentukan pada tahap dua, kemudian tentukan kecepatan kendaraan penumpang rata-rata dan tingkat pelayanan yang berhubungan dengan titik tersebut.

Tabel 7-6 Penyesuaian Lebar Lajur

Lebar Lajur (feet)	Pengurangan FFS, f_{LW} (mil/jam)
12	0,0
11	1,9
10	6,6

Sumber: TRB, 2000.

Tabel 7-7 Penyesuaian Clearance Lateral Bahu-Jalan

Clearance Lateral Bahu Jalan (feet)	Pengurangan FFS, f_{LC} (mil/jam)			
	Lajur dalam Satu Arah			
	2	3	4	≥ 5
≥ 6	0,0	0,0	0,0	0,0
5	0,6	0,4	0,2	0,1
4	1,2	0,8	0,4	0,2
3	1,8	1,2	0,6	0,3
2	2,4	1,6	0,8	0,4
1	3,0	2,0	1,0	0,5
0	3,6	2,4	1,2	0,6

Sumber: TRB, 2000.

Tabel 7-8 Penyesuaian Jumlah Lajur

Jumlah Lajur (Satu Arah)	Pengurangan FFS, f_N (mil/jam)
≥ 5	0,0
4	1,5
3	3,0
2	4,5

Catatan: Untuk seluruh ruas jalan tol di luar kota, f_N adalah 0,0
 Sumber: TRB, 2000.

Tabel 7-9 Penyesuaian untuk Kepadatan Interchange

Interchange per mil	Pengurangan FFS, f_{ID} (mil/jam)
0,50	0,0
0,75	1,3
1,00	2,5
1,25	3,7
1,50	5,0
1,75	6,3
2,00	7,5

Sumber: TRB, 2000.

4. Tentukan kepadatan arus dengan menggunakan rumus sebagai berikut:

$$D = v_p / S_{pc} \quad (4)$$

di mana

- D = kepadatan (pc/mi/ln)
 v_p = tingkat arus (pc/h/ln)
 S_{pc} = kecepatan kendaraan penumpang rata-rata (mil/jam)

Tingkat pelayanan dapat juga ditentukan menggunakan rentang kepadatan yang disediakan pada Tabel 7-1.

3.6 Penerapan

Prosedur untuk penerapan *Highway Capacity Manual* (TRB, 2000) pada masalah jalan tol dapat digolongkan menjadi tiga kategori, yaitu (1) analisis operasional (2) desain, dan (3) perencanaan.

3.6.1 Analisis Operasional Berikut ini diberikan proyeksi geometris dan kondisi lalu-lintas untuk memperkirakan LOS, kecepatan, dan kepadatan aliran lalu-lintas. Analisis ini berguna dalam mengevaluasi dampak dari desain alternatif.

Tahap-tahap Analisis Operasional

1. Hitung tingkat arus per-jam dalam pc/h/ln untuk arah arus yang sedang dianalisis dengan menggunakan Persamaan (1). Hitunglah faktor penyesuaian kendaraan berat menggunakan Persamaan (2) dan Tabel 7-2 sampai 7-5.
2. Tentukan FFS melalui pengukuran lapangan atau perkiraan dengan menggunakan Persamaan (3). Gunakanlah faktor penyesuaian untuk lebar lajur, clearance lateral bahu jalan, jumlah lajur, dan kepadatan interchange dari Tabel 7-6 sampai 7-9.

3. Pilihlah kurva yang sesuai dalam Gambar 7-3 atau buatlah, dengan interpolasi, kurva FFS, bila perlu.
4. Dengan membaca hasil dari tingkat arus seperti perhitungan tahap satu, tentukan kecepatan kendaraan penumpang rata-rata dan LOS.
5. Tentukan kepadatan menggunakan Persamaan (4)
6. Tentukan tingkat arus pelayanan maksimum, perbandingan (rasio) volume/kapasitas maksimum (v/c) dan kepadatan maksimum untuk tingkat pelayanan yang diberikan dengan menggunakan Tabel 7-1.

3.6.2 Desain Berikut ini adalah perkiraan volume permintaan dengan standar desain yang diketahui dan LOS yang dikehendaki untuk menentukan jumlah lajur.

Tahap-tahap Desain

1. Asumsikan jalan tolnya empat lajur.
2. Konversikan karakteristik lalu-lintas antisipasi (PHF, persen truk/bis dan persen kendaraan rekreasi) dan volume per-jam desain satu arah menjadi tingkat arus dalam pc/h/ln menggunakan Persamaan (1) dan (2), dan tabel-tabel yang sesuai.
3. Tentukan kondisi jalan dari petunjuk desain termasuk lebar lajur, jarak bahu kanan, dan permukaan atau informasi kelandaian yang diketahui.
4. Tentukan FFS menggunakan Persamaan (3) dan Tabel 7-6 sampai 7-9.
5. Menggunakan Gambar 7-3, pilihlah atau buatlah, dengan interpolasi, kurva arus-kecepatan yang sesuai seperlunya. Tentukan tingkat pelayanan.
6. Jika hasil perhitungan LOS lebih buruk dari LOS yang dikehendaki, ulangi Tahap 2 sampai 5 untuk 6, 8, 10 lajur sesuai keperluannya.

3.6.3 Perencanaan Penerapannya meliputi perencanaan untuk LOS, tingkat arus (v_p), dan jumlah lajur, yang berhubungan langsung dengan prosedur yang diuraikan untuk operasi dan desain. Bagaimanapun, penentuan ini adalah estimasi awal yang didasarkan pada data perkiraan. Pada tahap perencanaan, rincian kelandaian spesifik dan fitur geometris mungkin belum tersedia. Estimasi, yaitu nilai default HCM, dan nilai default setempat digunakan sebagai masukan untuk perhitungan. Hanya data berikut yang dibutuhkan untuk melaksanakan analisis perencanaan: perkiraan AADT pada tahun desain antisipasi, perkiraan kecenderungan persentase kendaraan-berat, dan klasifikasi umum jenis permukaan.

Tahap-tahap Perencanaan

1. Konversikan AADT menjadi DDHV menggunakan hubungan:

$$DDHV = AADT \times K \times D \quad (5)$$

di mana

AADT = perkiraan lalu-lintas harian rata-rata tahunan atau *annual average daily traffic* (kendaraan/hari)

DDHV = volume jam-desain satu arah (*directional design-hour volume*) (kendaraan/jam)

K = proporsi AADT yang terjadi pada jam-puncak

D = proporsi lalu-lintas jam-puncak pada arah yang paling ramai

Nilai K dan D diambil dari kondisi setempat. Nilai tipikal dari K dan D dinyatakan, yang dapat digunakan sebagai nilai default hanya jika angka-angka validnya tidak ada. Untuk K :

Jalan tol di daerah perkotaan: 0,08–0,09

Jalan tol di daerah luar kota: 0,15–0,20

Seiring dengan meningkatnya kepadatan tata-guna lahan, faktor K akan menurun karena permintaan lalu-lintas tersebar lebih merata di sepanjang hari. Untuk nilai D :

Jalan tol lingkar luar kota: 0,52

Jalan tol dalam kota: 0,55

Jalan tol luar kota: 0,75

- Gunakan prosedur analisis desain atau operasional yang telah disebutkan sebelumnya.

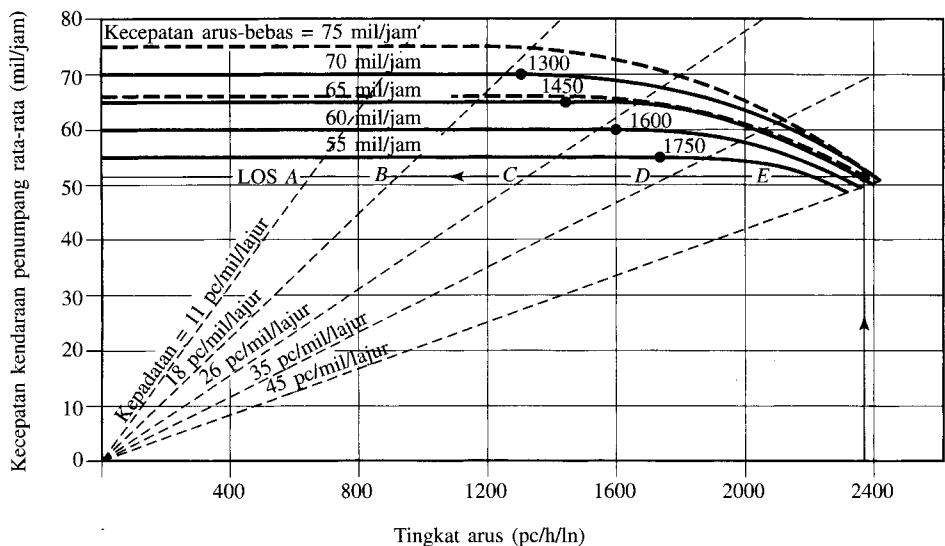
3.7 Contoh-contoh

Contoh 1

Di suatu ruas jalan tol luar kota, FFS diamati sebesar 66 mil/jam dari pengukuran lapangan. Tentukan tingkat pelayanan pada ruas ini ketika tingkat arus adalah 2.350 pc/h/ln.

Jawaban

Kurva FFS untuk 66 mil/jam diperlihatkan pada Gambar 7-E1 dengan garis putus-putus. Pada kecepatan ini, kapasitas dapat diamati sebesar 2.360 pc/h/ln. Dengan menempatkan tingkat arus 2.350 pc/h/ln pada sumbu horizontal dan membaca ke atas sampai ke garis putus-putus, kita menjumpai kecepatan kendaraan penumpang rata-rata sekitar 52 mil/jam, dengan demikian tingkat pelayanannya adalah E.



Gambar 7-E1 Contoh Penyelesaian Grafik Menggunakan Kurva Kecepatan-Arus.

Contoh 2

Diketahui:

Jalan tol perkotaan empat-lajur.
 Kepadatan interchange 1,5 /mil.
 Arus puncak satu-arah 1.950 kendaraan/jam
 Truk 5%
 PHF 0,90
 Lajur 11 feet; penghalang 4 feet dari tepi jalan
 Permukaan bergelombang

Tentukan: (a) LOS; dan (b) berapa banyak lalu-lintas tambahan yang dapat ditampung sebelum mencapai kapasitas.

Jawaban

(a) Hitung tingkat arus pelayanannya:

$$v_p = \frac{V}{\text{PHF} \times N \times f_{HV} \times f_p}$$

Asumsikan lalu-lintas pulang-pergi (*commuter traffic*) seperti yang biasa di jalan tol dalam kota; $f_p = 1,0$

Tentukan f_{HV} :

$$E_T = 2,5 \text{ (permukaan jalan bergelombang: Tabel 7-2)}$$

$$P_T = 0,05$$

$$f_{HV} = \frac{1}{1 + 0,05(2,5 - 1)} = 0,930$$

$$v_p = \frac{1950}{0,90 \times 2 \times 0,93 \times 1,0} = 1165 \text{ pc/h/ln}$$

Hitung kecepatan arus-bebas atau FFS:

$$\text{FFS} = 70 - f_{LW} - f_{LC} - f_N - F_{ID}$$

$$f_{LW} = 1,9 \text{ mil/jam (11 feet lajur; Tabel 7-6)}$$

$$f_{LC} = 1,2 \text{ mil/jam (4 feet clearance; Tabel 7-7)}$$

$$f_N = 4,5 \text{ mil/jam (2 lajur/arah; Tabel 7-8)}$$

$$f_{ID} = 5,0 \text{ mil/jam (1,5 interchange/mi; Tabel 7-9)}$$

$$\text{FFS} = 70 - 1,9 - 1,2 - 4,5 - 5,0 = 57,4 \text{ mil/jam}$$

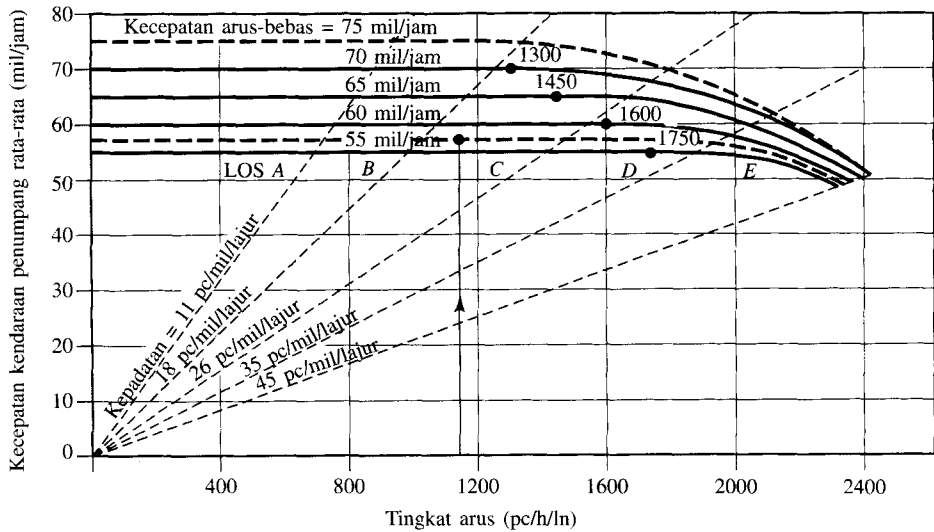
Untuk $v_p = 1.165$, FFS = 57,4; LOS masuk kategori C dari kurva arus-kecepatan pada Gambar 7-E2 atau Tabel 7-1.

(b) Hitung lalu-lintas tambahan untuk mencapai kapasitas (lihat Gambar 7-E2):

Ikuti kurva arus-kecepatan hingga terminus LOS E $\rightarrow 2.270 \text{ pc/h/lh}$ atau hitung MSF untuk LOS E dan FFS = 57,4 mil/jam menggunakan Tabel 7-1 $\rightarrow 2.270$.

Lalu-lintas tambahan (tingkat arus kendaraan-penumpang 15 menit puncak)

$$\begin{aligned} &= (2 \text{ lajur}) (2.270 \text{ pc/h/lh}) - (2 \text{ lajur}) (1.165 \text{ pc/h/lh}) \\ &= 2.210 \text{ pc/hr (arus satu arah)} \end{aligned}$$



Gambar 7-E2 Contoh Penyelesaian Menggunakan Kurva Kecepatan-Arus, Contoh 2

Untuk konversi menjadi arus per-jam gunakan Persamaan (1) yang telah disusun ulang:

$$V = v_p \times PHF \times N \times f_{HV} \times f_p$$

$$= 2210 \times 0,90 \times 0,93 \times 1,0 = 1850 \text{ veh/hr}$$

(Jumlah lajur telah diperhitungkan.)

Contoh 3

Diketahui:

Permukaan datar—ruas jalan tol yang diperpanjang

Daerah perkotaan dengan 1,5 interchange per mil

DDHV 4.050 kendaraan/jam

Truk 10%, tidak ada bis, tidak ada kendaraan rekreasi

PHF 0,95

Bahu penuh dan lebar lajur 12 feet akan disediakan

Tentukan: Jumlah lajur untuk beroperasi pada LOS C.

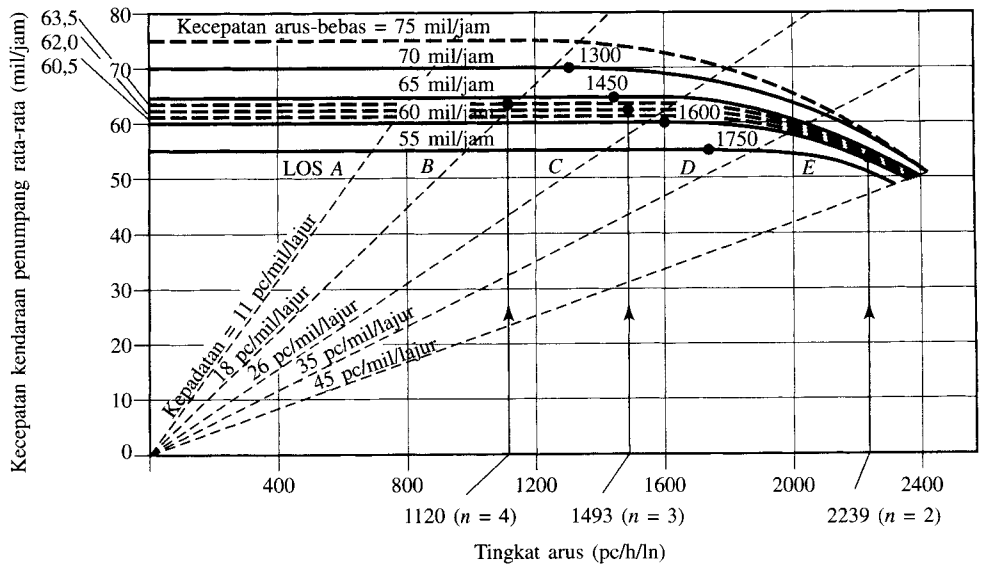
Jawaban

Diasumsikan lalu-lintasnya adalah lalu-lintas *commuter*

$$v_p = \frac{V}{PHF \times N \times f_{HV} \times f_p} \quad f_{HV} = \frac{1}{1 + 0,10(1,5 - 1)} = 0,952$$

$$v_p = \frac{V}{PHF \times N \times f_{HV} \times f_p} \quad P_T = 0,10, E_T = 1,5 \text{ (rata, Tabel 7-2)}$$

$$v_p = \frac{4050}{0,95 \times 2 \times 0,952 \times 1,0} = 2239 \text{ pc/h}$$



Gambar 7-E3 Contoh Penyelesaian Menggunakan Kurva Kecepatan-Arus-Contoh 3.

untuk $N = 2$ lajur, $V_p = 1493$ pc/h dan 1120 pc/h untuk 3 dan 4 lajur

$$FFS = 70 - f_{LW} - f_{LC} - f_N - F_{ID}$$

$f_{LW} = 0$ (lebar lajur 12-ft yang diperkirakan)

$f_{LC} = 0$ (clearance penuh yang diperkirakan)

$f_N = 4,5$ mil/jam untuk $N = 2$; 3,0 mil/jam untuk $N = 3$; 3,15 mil/jam untuk $N = 4$ (Tabel 7-8)

$f_{ID} = 5,0$ mil/jam (1,5 interchange/mil; Tabel 7-9)

$FFS = 70 - 4,5 - 5,0 = 60,5$ mil/jam untuk 2 lajur; 62 mil/jam untuk 3 lajur; 63,5 mil/jam untuk 4 lajur.

Tentukan tingkat pelayanan dengan menggunakan Gambar 7-E3. Enam lajur dibutuhkan di jalan tol ini, tiga lajur untuk masing-masing arah, untuk LOS = C. Kecepatan 62 mil/jam dan kepadatan 24,1 pc/mi/ln.

Contoh 4

Diketahui:

Jalan tol radial sedang direncanakan di daerah perkotaan

Akses jalan tol akan disediakan dengan jeda (*gap*) 1 mil

AADT yang diperkirakan = 70.000 kendaraan/jam

Truk 15%

PHF = 0,90

Permukaan bergelombang

Tentukan: Jumlah lajur untuk LOS C.

Jawaban

Pilih $K = 0,09$, $D = 0,55$

$$DDHV = AADT \times K \times D$$

$$DDHV = 70.000 \times 0,09 \times 0,55 = 3465 \text{ kendaraan/jam}$$

$$FFS = 70 - f_{LW} - f_{LC} - f_N - F_{ID}$$

$$f_{LW} = 0$$

$$f_{LC} = 0$$

$$f_N = 4,5 \text{ mil/jam}(N = 2); 3,0 \text{ mil/jam}(N = 3); 1,5 \text{ mil/jam}(N = 4)$$

$$f_{ID} = 2,5 \text{ mil/jam (1,0 interchange/mil; Tabel 7-9)}$$

$$FFS = 70 - 0 - 0 - 4,5 - 2,5 = 63(N = 2)$$

$$FFS = 70 - 0 - 0 - 3,0 - 2,5 = 64,5(N = 3)$$

$$FFS = 70 - 0 - 0 - 1,5 - 2,5 = 66(N = 4)$$

Tentukan arus pelayanan untuk 2, 3 dan 4 lajur:

$$f_{HV} = \frac{1}{1 + 0,15(2,5 - 1)} = 0,816 \quad E_T = 2,5 \text{ (Tabel 7-2)}$$

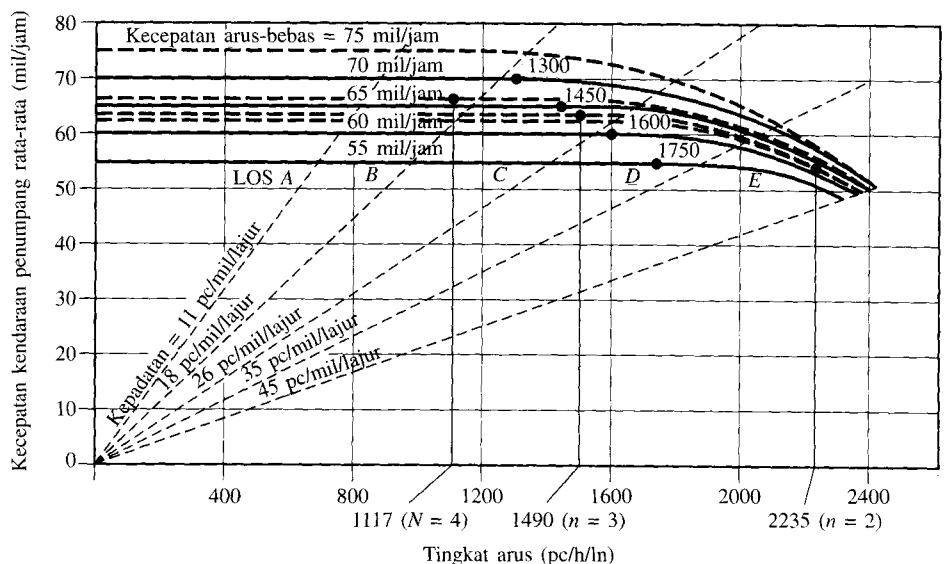
$$N = 2; v_p = \frac{V}{PHF \times N \times f_{HV} \times f_p} = \frac{3465}{0,95 \times 2 \times 0,816 \times 1,0} = 2235 \text{ pc/h/ln}$$

Untuk $N = 3$; $v_p = 1490 \text{ pc/h/ln}$ dan untuk $N = 4$; $v_p = 1117 \text{ pc/h/ln}$

Jumlah lajur:

N	FFS	v_p	LOS
2	63	2235	E
3	64,5	1490	C
4	66	1117	B

(Gunakan Tabel 7-1 atau kurva kecepatan-arus dalam Gambar 7-E4 untuk menentukan LOS.)
Sediakan jalan tol 6 lajur.



Catatan: Kurva kecepatan arus diinterpolasi pada 63, 64,5, dan 66 mil/jam.

Gambar 7-E4 LOS untuk Ruas Jalan Tol Dasar (TRB, 2000).

4. KAPASITAS JALAN RAYA MULTI-LAJUR

4.1 Definisi dan Karakteristik

Jalan raya multi-lajur tampil dalam sejumlah bentuk, mulai dari yang terdapat di komunitas-komunitas di pinggir kota menuju ke pusat kota atau di sepanjang koridor-koridor luar kota volume-tinggi yang menghubungkan dua kota atau aktivitas signifikan yang menghasilkan jumlah perjalanan harian yang besar. Jalan raya multi-lajur umumnya memiliki batas kecepatan antara 40 dan 55 mil/jam. Jalan jenis ini biasanya memiliki 4 sampai 6 lajur, sering dengan median pemisah atau lajur berputar dua-arah atau *two-way left-turn lane* (TWLTR), meskipun kadangkala juga tidak dibagi. Di antara dua titik pemberhentian yang tetap, seperti dua persimpangan dengan lampu pada jarak lebih dari 2 mil, jalan raya multi-lajur beroperasi seperti jalan tol, dengan kondisi arus tak terhenti, namun arusnya tidak seefisien seperti arus di jalan tol. Gesekan samping dan median, karena kendaraan yang keluar-masuk jalan dan kendaraan dari arah berlawanan pada jalan raya multi-lajur tak terbagi, umum terjadi. Lampu lalu-lintas sejarak maksimal 2 mil adalah kondisi umum jalan di kota.

4.2 Prosedur

Untuk memprediksi tingkat pelayanan jalan raya multi-lajur ada tiga tahap:

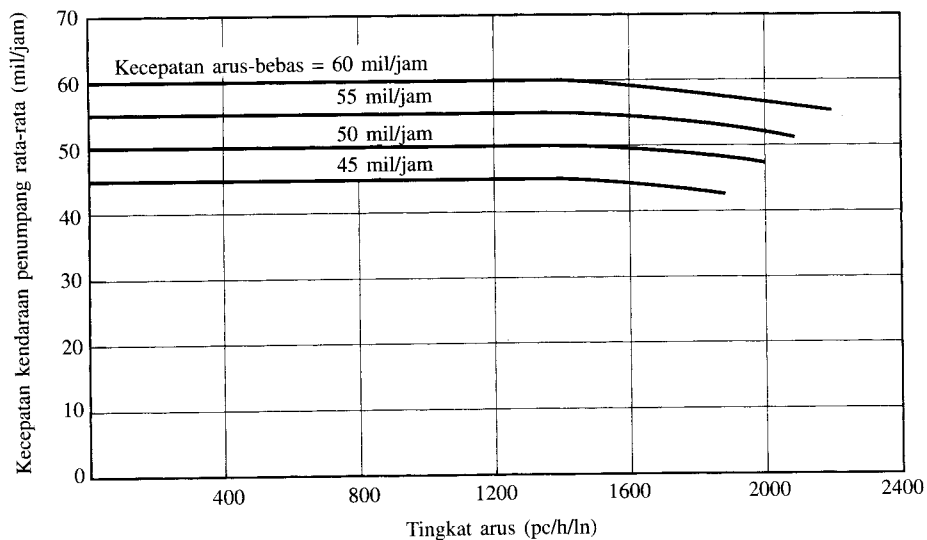
1. Penentuan kecepatan arus-bebas
2. Penyesuaian volume
3. Penentuan tingkat pelayanan

Kecepatan arus-bebas adalah kecepatan teoritis lalu-lintas ketika kepadatan mendekati nol. Kecepatan arus-bebas adalah kecepatan di mana pengemudi merasa nyaman berkendara pada kondisi fisik, lingkungan, dan lalu-lintas yang ada pada suatu ruas jalan raya multi-lajur yang tidak padat. Dalam prakteknya, kecepatan arus-bebas ditentukan dengan melakukan pengamatan waktu tempuh selama periode arus rendah hingga menengah. Batas atas untuk kondisi arus rendah hingga menengah ditetapkan sebesar 1.400 kendaraan penumpang per-jam per lajur (pc/h/ln) untuk analisis.

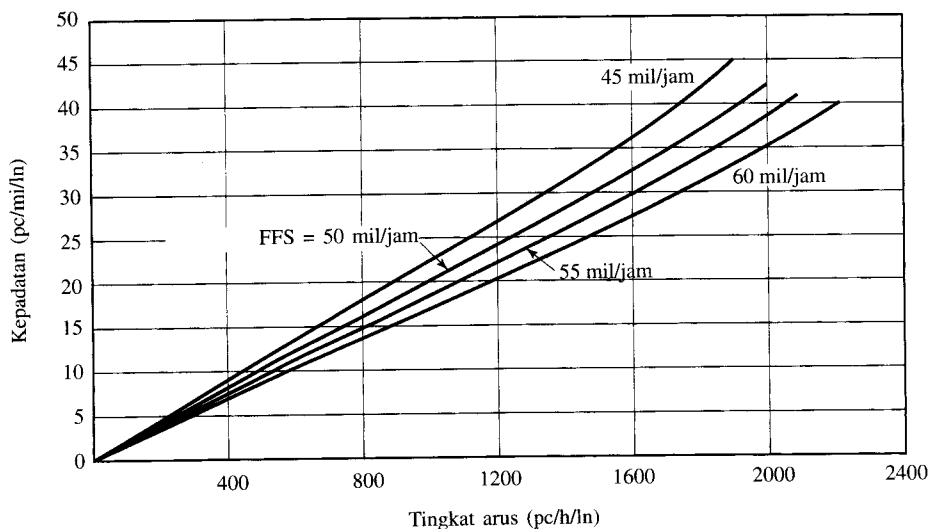
Karakteristik arus-kecepatan dan arus-kepadatan diperlihatkan pada Gambar 7-4. Hubungan ini digunakan untuk ruas arus-tak-terhenti pada sebuah jalan raya multi-lajur di dalam kondisi dasar atau non-dasar di mana kecepatan arus-bebas telah diketahui. Gambar 7-4 (a) menunjukkan bahwa kecepatan lalu-lintas tidak terpengaruh oleh volume lalu-lintas sampai ke tingkat arus 1.400 pc/h/ln. Gambar tersebut juga memperlihatkan bahwa kapasitas jalan raya multi-lajur di bawah kondisi dasar adalah 2.200 pc/h/ln untuk jalan raya dengan kecepatan arus-bebas 60 mil/jam. Pada tingkat arus antara 1.400 dan 2.200 pc/h/ln, kecepatan menurun drastis; sebagai contoh, sebesar 5 mil/jam untuk jalan raya dengan kecepatan arus-bebas 60 mil/jam. Gambar 7-4 (b) memperlihatkan bahwa kepadatan bervariasi secara kontinu di seluruh rentang tingkat arus. Nilai kapasitas 2.200 pc/h/ln adalah nilai representatif dari tingkat arus 15 menit maksimum yang dapat diakomodasikan pada kondisi dasar untuk jalan raya dengan kecepatan arus-bebas 60 mil/jam.

Dari studi karakteristik arus, kondisi-kondisi dasar untuk jalan raya multi-lajur dapat ditentukan sebagai berikut:

1. Lebar lajur 12 feet
2. Setidaknya terdapat 12 feet clearance lateral total pada arah pergerakannya. Clearance diukur dari tepi lajur tempuh (termasuk bahu jalan), di mana 6 feet atau di atasnya dianggap sama dengan 6 feet.



(a)

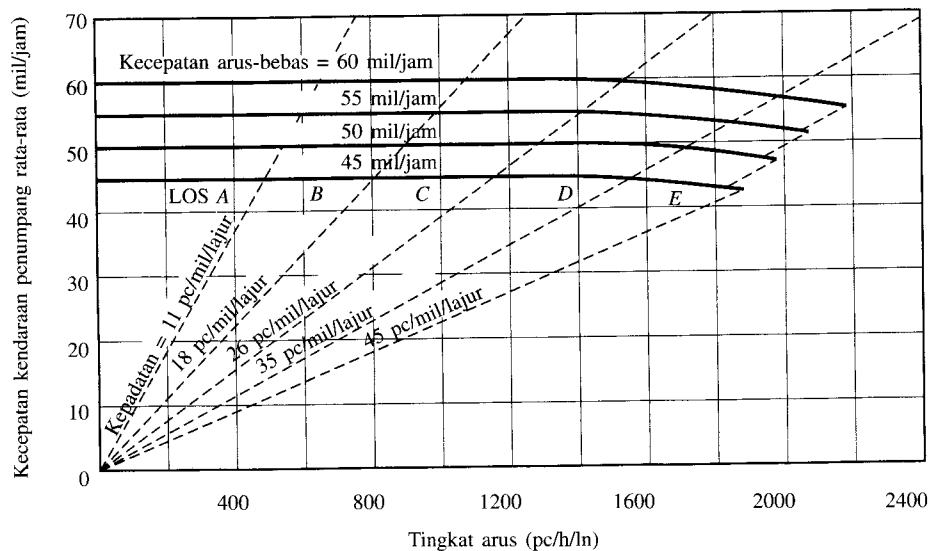


(b)

Gambar 7-4 (a) Hubungan Kecepatan-Arus pada Jalan raya Multilajur. (b) Hubungan Kepadatan-Arus pada Jalan raya Multilajur (TRB, 2000).

3. Tidak ada akses langsung ke jalan raya.
4. Jalan raya terbagi
5. Hanya kendaraan penumpang saja pada aliran lalu-lintasnya
6. Kecepatan arus-bebas 60 mil/jam atau lebih
7. Populasi pengemudi yang utama adalah pengguna kendaraan pulang pergi (*commuter*)

Tingkat arus per-jam maksimum, yang membentuk dasar untuk menentukan kapasitas, adalah fungsi kapasitas dan kecepatan. Karena kecepatan arus-bebas adalah input langsung untuk perhitungan kepadatan, penyesuaian faktor geometri digunakan untuk kecepatan arus-



Gambar 7-5 Kurva Kecepatan-Arus dengan Kriteria LOS untuk Jalan Bebas Hambatan Multilajur (TRB, 2000).

bebas. Ada beberapa kondisi pengendalian lalu-lintas, kondisi fisik, dan kondisi lalu-lintas yang mempengaruhi kecepatan arus-bebas di sepanjang suatu jalan raya. Jika gangguan kecepatan terjadi, dapat diduga bahwa operasional lalu-lintas akan sering terpengaruh. Dalam situasi ini, pengguna dapat menggunakan pengukuran di tempat untuk menyesuaikan hubungan antara kecepatan persentil ke-85 dan kecepatan arus-bebas. Kecepatan desain dan batas kecepatan juga dapat mempengaruhi kecepatan arus-bebas.

Tabel 7-10 Kriteria Tingkat Pelayanan untuk Jalan raya Multilajur

FFS	Kriteria	LOS				
		A	B	C	D	E
60 mil/jam	Kepadatan maksimum (pc/mi/ln)	11	18	26	35	40
	Kecepatan rata-rata (mil/jam)	60,0	60,0	59,4	56,7	55,0
	Rasio v/c maksimum	0,30	0,49	0,70	0,90	1,00
	Tingkat arus pelayanan maksimum (pc/h/ln)	660	1080	1550	1980	2200
55 mil/jam	Kepadatan maksimum (pc/mi/ln)	11	18	26	35	41
	Kecepatan rata-rata (mil/jam)	55,0	55,0	54,9	52,9	51,2
	Rasio v/c maksimum	0,29	0,47	0,68	0,88	1,00
	Tingkat arus pelayanan maksimum (pc/h/ln)	600	990	1430	1850	2100
50 mil/jam	Kepadatan maksimum (pc/mi/ln)	11	18	26	35	43
	Kecepatan rata-rata (mil/jam)	50,0	50,0	50,0	48,9	47,5
	Rasio v/c maksimum	0,28	0,45	0,65	0,86	1,00
	Tingkat arus pelayanan maksimum (pc/h/ln)	550	900	1300	1710	2000
45 mil/jam	Kepadatan maksimum (pc/mi/ln)	11	18	26	35	45
	Kecepatan rata-rata (mil/jam)	45,0	45,0	45,0	44,4	42,2
	Rasio v/c maksimum	0,26	0,43	0,62	0,82	1,00
	Tingkat arus pelayanan maksimum (pc/h/ln)	490	810	1170	1550	1900

Sumber: TRB, 2000.

Kriteria tingkat pelayanan untuk jalan raya multi-lajur ditentukan berdasarkan kepadatan. Berbagai tingkat pelayanan diterapkan pada kurva-kurva arus-kecepatan pada Gambar 7-4(a) untuk memberikan nilai-nilai batas kepadatan. Batas-batas LOS ini ditunjukkan pada Gambar 7-5 oleh garis-garis kemiringan, masing-masing menunjuk suatu nilai kepadatan yang konstan. Kriteria LOS yang lengkap terdapat pada Tabel 7-10. Untuk kecepatan arus-bebas rata-rata 60, 55, 50, dan 45 mil/jam, tabel ini memberikan kecepatan tempuh rata-rata, nilai maksimum v/c , dan tingkat arus pelayanan maksimum (MSF) untuk setiap tingkat pelayanan. Pada kondisi dasar, kecepatan, perbandingan v/c , dan MSF hasil-perhitungan diperkirakan berada pada aliran lalu-lintas yang beroperasi pada kepadatan yang ditetapkan untuk setiap tingkat pelayanan.

Nilai kecepatan kendaraan-penumpang rata-rata yang diukur di lapangan pada kondisi volume lengang (sepi) dapat digunakan langsung sebagai kecepatan arus-bebas jika pengukuran semacam itu dilakukan pada tingkat arus 1.400 pc/h/ln atau di bawahnya. Penyesuaian tidak perlu dilakukan karena kecepatan ini mencerminkan efek bersih atau efek sebenarnya pada seluruh kondisi di lokasi yang mempengaruhi kecepatan, termasuk lebar lajur, clearance lateral, jenis median, titik akses, rambu batas kecepatan, dan alinyemen horizontal dan vertikal. Kecepatan arus-bebas juga dapat ditentukan dari kecepatan persentil ke-85 atau rambu batas kecepatan, apabila tidak mungkin mengukur langsung di lapangan. Data terbaru untuk jalan raya multi-lajur menunjukkan bahwa kecepatan arus-bebas rata-rata pada kondisi dasar terentang mulai dari sekitar 1 mil/jam lebih rendah daripada kecepatan persentil ke-85 ketika kecepatan persentil ke-85 40 mil/jam hingga 3 mil/jam lebih rendah apabila kecepatan persentil ke-85nya 60 mil/jam. Riset lainnya menunjukkan bahwa kecepatan arus-bebas pada kondisi dasar adalah 7 mil/jam lebih tinggi daripada batas kecepatan untuk batas kecepatan 40 sampai 50 mil/jam dan 5 mil/jam lebih tinggi untuk batas kecepatan 50 sampai 55 mil/jam.

Ketika data lapangan tidak tersedia, kecepatan arus-bebas dapat diperkirakan secara tidak langsung dengan menggunakan persamaan:

$$FFS = BFFS - f_{LW} - f_{LC} - f_M - f_A \quad (6)$$

di mana

FFS = nilai perkiraan kecepatan arus-bebas (mil/jam)

BFFS = kecepatan arus-bebas dasar (mil/jam)

F_{LW} = penyesuaian untuk lebar lajur (dari Tabel 7-11)

F_{LC} = penyesuaian untuk clearance lateral (dari Tabel 7-12)

F_M = penyesuaian untuk jenis median (dari Tabel 7-13)

F_A = penyesuaian untuk titik akses (dari Tabel 7-14)

Analisis harus mempertimbangkan untuk membagi jalan raya menjadi bagian-bagian homogen yang mencerminkan perubahan dalam karakteristik median sebelum menerapkan penyesuaian seperti pada Tabel 7-13. Menurut Tabel 7-11, penyesuaian dalam mil/jam meningkat seiring menurunnya lebar lajur dari lebar lajur dasar 12 feet. Tidak pernah ada data yang menunjukkan

Tabel 7-11 Penyesuaian untuk Lebar Lajur

Lebar Lajur (feet)	Pengurangan FFS (mil/jam)
12	0,0
11	1,9
10	6,6

Sumber: TRB, 2000.

Tabel 7-12 Penyesuaian untuk Clearance Lateral (*Lateral Clearance*)

Jalan raya Empat-Lajur		Jalan raya Enam-Lajur	
Clearance lateral Total ^a (feet)	Pengurangan FFS (mil/jam)	Clearance lateral Total ^a (feet)	Pengurangan FFS (mil/jam)
12	0,0	12	0,0
10	0,4	10	0,4
8	0,9	8	0,9
6	1,3	6	1,3
4	1,8	4	1,7
2	3,6	2	2,8
0	5,4	0	3,9

^aClearance lateral total adalah jumlah clearance lateral median (jika lebih besar dari 6 feet, gunakan 6 feet) dan bahu jalan (jika lebih besar dari 6 feet, gunakan 6 feet). Dengan demikian, untuk tujuan analisis, clearance lateral total tidak dapat melebihi 12 feet.

Sumber: TRB, 2000.

lebar lajur kurang dari 10 feet. Penghalang-penghalang tetap yang pengaruh lateralnya harus dihitung dengan Tabel 7-12 meliputi lampu standar, rambu-rambu, pohon, pagar pengaman, penghalang lalu-lintas, dan dinding penahan. Clearance lateral total untuk Tabel 7-12 didefinisikan sebagai berikut:

$$TLC = LC_R + LC_L \quad (7)$$

di mana

TLC = clearance lateral total (feet)

LC_R = clearance lateral (feet) dari tepi luar lajur ke sisi penghalang (jika lebih besar dari 6 feet, gunakan 6 feet)

LC_L = clearance lateral (feet) dari tepi dalam lajur ke penghalang di median jalan.

Untuk jalan raya tak terbagi, tidak ada penyesuaian untuk clearance lateral sisi dalam karena telah diperhitungkan di dalam jenis median. Dengan demikian, dalam penggunaan Tabel 7-12 untuk jalan raya tak terbagi, clearance lateral untuk sisi dalam lajur selalu menggunakan nilai 6 feet, sebagaimana digunakan untuk jalan dengan TWLTL.

Kepadatan titik-akses, untuk digunakan di Tabel 7-14, untuk jalan terbagi dihitung dengan cara membagi jumlah total titik akses (persimpangan dan jalur jalan) pada sisi luar jalan searah dengan arah lajur yang diamati dengan panjang ruas dalam mil. Hanya titik akses yang signifikan yang dapat dimasukkan ke dalam perhitungan. Untuk jalan raya multi-lajur satu-arah, jalur jalan di kedua sisi jalan harus dimasukkan. Ketika data jumlah titik akses pada suatu jalan raya tidak tersedia, pedoman dalam Tabel 7-15 dapat digunakan. Penelitian menunjukkan bahwa tidak terdapat perbedaan yang signifikan pada hubungan kecepatan arus-

Tabel 7-13 Penyesuaian untuk Jenis Median

Tipe Median	Pengurangan FFS (mil/jam)
Jalan raya tak terbagi	1,6
Jalan raya terbagi (termasuk TWLTL)	0,0

Sumber: TRB, 2000.

bebas untuk kondisi lalu-lintas commuter (pulang pergi) atau noncommuter. Namun, kapasitas untuk lalu-lintas rekreasi dapat mencapai 20% lebih rendah dibandingkan lalu-lintas pulang-pergi pada jalan raya yang sama. Dengan demikian, untuk menghitung segala kemungkinan akibat populasi pengemudi, data yang diperoleh dari lapangan harus digunakan dengan hati-hati. Nilai untuk faktor populasi pengemudi berkisar dari 0,85 sampai 1,00. Nilai 1,00 adalah nilai yang biasanya dipilih kecuali terdapat bukti yang cukup untuk menggunakan nilai yang lebih kecil untuk menunjukkan karakteristik lalu-lintas rekreasional.

Penyesuaian untuk faktor jam-puncak dan faktor penyesuaian kendaraan-berat harus dibuat dalam hitungan atau estimasi volume per-jam agar bisa menghasilkan tingkat arus kendaraan-penumpang yang digunakan dalam analisis LOS. Penyesuaian tersebut dapat dilakukan sebagai berikut:

$$v_p = \frac{V}{PHF \times N \times f_{HV} \times f_p} \quad (8)$$

di mana

- v_p = tingkat arus padanan kendaraan-penumpang 15 menit (pc/h/ln)
- V = volume (jumlah kendaraan yang melintasi satu titik dalam 1 jam)
- N = jumlah lajur
- PHF = faktor jam-puncak (*peak-hour factor*)
- f_{HV} = faktor penyesuaian kendaraan-berat
- f_p = faktor populasi pengemudi

PHF untuk jalan raya multi-lajur telah diamati berkisar dari 0,75 sampai 0,95. Nilai yang lebih rendah adalah ciri khas kondisi di luar kota atau jam tidak sibuk, sedangkan faktor yang lebih besar merupakan ciri kondisi jam-puncak di perkotaan dan daerah di pinggir kota. Ketika data setempat tidak tersedia, nilai 0,88 digunakan sebagai nilai estimasi dari PHF untuk jalan raya multi-lajur daerah luar kota dan 0,92 untuk fasilitas di daerah pinggir kota.

Tabel 7-14 Penyesuaian Kepadatan Titik-Akses

Titik Akses/Mil	Pengurangan FFS (mil/jam)
0	0,0
10	2,5
20	5,0
30	7,5
≥40	10,0

Sumber: TRB, 2000.

Tabel 7-15 Kepadatan Titik-Akses Default

Tipe Pembangunan	Nilai Default	Titik Akses/mil (Satu sisi)
Daerah luar kota		8 0–10
Daerah pinggir kota dengan kepadatan rendah	16	11–20
Daerah pinggir kota dengan kepadatan tinggi	25	≥21

Sumber: TRB, 2000.

Penyesuaian untuk keberadaan kendaraan berat dalam aliran lalu-lintas berlaku untuk tiga jenis kendaraan, yaitu truk, bis, dan kendaraan rekreasional. Tidak ada bukti yang menunjukkan adanya perbedaan yang jelas antara karakteristik performa bis dan truk pada jalan raya multi-lajur, sehingga populasi totalnya dapat digabung. Penentuan faktor penyesuaian kendaraan berat memerlukan dua tahap:

1. Tentukan faktor padanan (*equivalent factor*) untuk truk dan bis (E_T) dan kendaraan rekreasional (E_R) untuk kondisi operasional yang ada. Nilai dari padanan kendaraan-penumpangnya dipilih dari Tabel 7-16 sampai 7-19 untuk berbagai kondisi dasar.
2. Dengan menggunakan nilai dari tahap 1, hitung faktor penyesuaian kendaraan-berat dari Persamaan (2).

Padanan kendaraan-penumpang dipilih berdasarkan ruas jalan raya umum yang diperpanjang atau berdasarkan kelandaian spesifik. Ruas jalan raya multi-lajur yang panjang dapat diklasifikasikan sebagai ruas umum jika dari kelandaianya yang melebihi 3% tidak ada yang lebih panjang dari 1/2 mil, dan kelandaian 3% atau di bawahnya tidak melebihi 1 mil. Ruas seperti ini disubklasifikasikan lebih jauh menjadi permukaan yang datar, bergelombang, dan bergunung. Nilai E_T dan E_R untuk ruas umum yang diperpanjang dipilih dari Tabel 7-16. Tabel 7-17 dan 7-18 masing-masing memperlihatkan padanan kendaraan-penumpang untuk truk dan bis (E_T) dan untuk kendaraan rekreasional (E_R), pada tanjakan yang seragam. Tabel 7-17 disusun berdasarkan perbandingan berat-tenaga kuda rata-rata sebesar 167 lb/hp, yang merupakan ciri populasi truk yang dijumpai pada jalan raya multi-lajur. Tabel 7-19 menyediakan padanan kendaraan penumpang untuk truk pada jalan menurun.

Ketika beberapa kelandaian yang berurutan dengan sudut yang berbeda yang secara keseluruhan membentuk suatu kelandaian gabungan, kita menerapkan teknik kelandaian rata-rata untuk menghitung suatu kelandaian seragam, yang digunakan untuk mengisi tabel perhitungan. Teknik kelandaian rata-rata menghitung kelandaian seragam berdasarkan peningkatan total dari awal kelandaian dibagi dengan jarak horizontal total di mana peningkatan tersebut berakhir. Teknik kelandaian rata-rata cukup akurat untuk kelandaian dengan panjang 4.000 ft, atau kurang, atau tidak lebih besar dari 4%. Untuk perbedaan kombinasi kelandaian yang lebih besar, HCM memberikan satu teknik detail, yang didasarkan pada kurva performa kendaraan dan kecepatan-kecepatannya.

Tingkat pelayanan pada jalan raya multi-lajur dapat ditentukan secara langsung dari Gambar 7-5 berdasarkan FFS dan tingkat arus pelayanan (v_p) dalam pc/h/ln. Prosedurnya adalah sebagai berikut:

1. Tentukan dan buatlah ruas jalan raya yang dikehendaki. Kondisi berikut akan membantu menetapkan pembagian ruas jalan raya:
 - Perubahan dalam perlakuan atas median
 - Perubahan kelandaian sebesar 2% atau lebih, atau suatu tanjakan konstan yang panjangnya di atas 4.000 feet

Tabel 7-16 Padanan Kendaraan-Penumpang pada Ruas Jalan raya Umum yang Diperpanjang

Faktor	Tipe Permukaan		
	Rata	Bergelombang	Pegunungan
ET (Truk dan Bis)	1,5	2,5	4,5
ER (Kendaraan Rekreasional)	1,2	2,0	4,0

Sumber: TRB, 2000.

Tabel 7-17 Padanan Kendaraan Penumpang untuk Truk dan Bis pada Jalan Menanjak

Jalan menanjak (%)	Panjang (mil)	E_T								
		Persentase Truk dan Bis								
		2	4	5	6	8	10	15	20	25
<2	Semua	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5
≥2–3	0,00–0,25	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5
	>0,25–0,50	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5
	>0,50–0,75	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5
	>0,75–1,00	2,0	2,0	2,0	2,0	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5
	>1,00–1,50	2,5	2,5	2,5	2,5	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0
	>1,50	3,0	3,0	2,5	2,5	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0
>3–4	0,00–0,25	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5
	>0,25–0,50	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	1,5	1,5	1,5
	>0,50–0,75	2,5	2,5	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0
	>0,75–1,00	3,0	3,0	2,5	2,5	2,5	2,5	2,0	2,0	2,0
	>1,00–1,50	3,5	3,5	3,0	3,0	3,0	3,0	2,5	2,5	2,5
	>1,50	4,0	3,5	3,0	3,0	3,0	3,0	2,5	2,5	2,5
>4–5	0,00–0,25	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5
	>0,25–0,50	3,0	2,5	2,5	2,5	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0
	>0,50–0,75	3,5	3,0	3,0	3,0	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5
	>0,75–1,00	4,0	3,5	3,5	3,5	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0
	>1,00	5,0	4,0	4,0	4,0	3,5	3,5	3,0	3,0	3,0
>5–6	0,00–0,25	2,0	2,0	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5
	>0,25–0,30	4,0	3,0	2,5	2,5	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0
	>0,30–0,50	4,5	4,0	3,5	3,0	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5
	>0,50–0,75	5,0	4,5	4,0	3,5	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0
	>0,75–1,00	5,5	5,0	4,5	4,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0
	>1,00	6,0	5,0	5,0	4,5	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5
>6	0,00–0,25	4,0	3,0	2,5	2,5	2,5	2,5	2,0	2,0	2,0
	>0,25–0,30	4,5	4,0	3,5	3,5	3,5	3,0	2,5	2,5	2,5
	>0,30–0,50	5,0	4,5	4,0	4,0	3,5	3,0	2,5	2,5	2,5
	>0,50–0,75	5,5	5,0	4,5	4,5	4,0	3,5	3,0	3,0	3,0
	>0,75–1,00	6,0	5,5	5,0	5,0	4,5	4,0	3,5	3,5	3,5
	>1,00	7,0	6,0	5,5	5,5	5,0	4,5	4,0	4,0	4,0

Sumber: TRB, 2000

- Perubahan dalam jumlah lajur
- Adanya lampu lalu-lintas
- Perubahan signifikan dalam kepadatan titik-akses
- Perbedaan batas kecepatan
- Adanya kondisi leher botol

Secara umum, panjang minimum bagian yang diamati seharusnya adalah 2.500 feet, dan batas-batasnya tidak boleh lebih dekat dari 0,25 mil dari suatu persimpangan yang menggunakan lampu lalu-lintas.

2. Berdasarkan perhitungan atau perkiraan kecepatan arus-bebas pada ruas jalan raya, kita dapat membuat kurva arus-kecepatan yang bentuknya sama dengan kurva yang terdapat pada Gambar 7-5.
3. Carilah titik pada sumbu horizontal yang menunjukkan tingkat arus yang sesuai (V_p) dalam pc/hr/pl dan gambarlah sebuah garis vertikal.

Tabel 7-18 Padanan Kendaraan-Penumpang untuk Kendaraan Rekreasional pada Jalan Menanjak Seragam

Kelandaian atau Kemiringan (%)	Panjang (mil)	E_R								
		Persentase Kendaraan Rekreasional								
		2	4	5	6	8	10	15	20	25
≤2	Semua	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2
>2–3	0,00–0,50	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2
	>0,50	3,0	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,2	1,2	1,2
>3–4	0,00–0,25	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2
	>0,25–0,50	2,5	2,5	2,0	2,0	2,0	2,0	1,5	1,5	1,5
	>0,50	3,0	2,5	2,5	2,5	2,0	2,0	2,0	1,5	1,5
>4–5	0,00–0,25	2,5	2,0	2,0	2,0	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5
	>0,25–0,50	4,0	3,0	3,0	3,0	2,5	2,5	2,0	2,0	2,0
	>0,50	4,5	3,5	3,0	3,0	3,0	2,5	2,5	2,0	2,0
>5	0,00–0,25	4,0	3,0	2,5	2,5	2,5	2,0	2,0	2,0	1,5
	>0,25–0,50	6,0	4,0	4,0	3,5	3,0	3,0	2,5	2,5	2,0
	>0,50	6,0	4,5	4,0	4,0	3,5	3,0	3,0	2,5	2,0

Sumber: TRB, 2000

Tabel 7-19 Padanan Kendaraan-Penumpang untuk Truk pada Jalan Menurun

Jalan menurun (%)	Panjang (mil)	E_T			
		Persentase Truk			
		5	10	15	20
> 4	Semua	1,5	1,5	1,5	1,5
4–5	≤ 4	1,5	1,5	1,5	1,5
4–5	> 4	2,0	2,0	2,0	1,5
> 5–6	≤ 4	1,5	1,5	1,5	1,5
> 5–6	> 4	5,5	4,0	4,0	3,0
> 6	≤ 4	1,5	1,5	1,5	1,5
> 6	> 4	7,5	6,0	5,5	4,5

Sumber: TRB, 2000

4. Tarik ke atas sebuah garis lurus sampai ke kurva FFS yang telah ditentukan dalam tahap dua dan tentukan kecepatan tempuh rata-rata di titik perpotongannya.
5. Tentukan tingkat pelayanan berdasarkan daerah kepadatan di mana titik ini terletak. Kepadatan arus dapat dihitung dengan rumus:

$$D = \frac{v_p}{S}$$

di mana

 D = kepadatan (pc/mi/ln) v_p = tingkat arus pelayanan (pc/h/ln) S = kecepatan tempuh kendaraan penumpang rata-rata (mil/jam)

Tingkat pelayanan juga dapat ditentukan dengan membandingkan kepadatan hasil-perhitungan dengan rentang kepadatan yang diperlihatkan pada Tabel 7-10.

Untuk menggunakan prosedur-prosedur tersebut untuk desain, harus dibuat prediksi mengenai volume lalu-lintas di masa yang akan datang dan harus ada estimasi mengenai kondisi kontrol geometrik dan kondisi kontrol lalulintas umumnya, misalnya batas kecepatan. Dengan data-data ini dan dengan satu tingkat pelayanan ambang, estimasi jumlah lajur yang dibutuhkan untuk tiap arah perjalanan dapat ditentukan.

4.3 Contoh-contoh

Contoh 5

Sebuah ruas multi-lajur takterbagi sepanjang 2 mil dari Pantai Pasifik Highway berada di pegunungan dan mempunyai DDHV 1.500 kendaraan/jam dengan PHF 0,95 selama musim turis. Faktor populasi pengemudi ditentukan 0,85. Lalu-lintas meliputi 5% truk, 3% bis, dan 7% kendaraan rekreasional. Ruas jalan memiliki empat lajur dengan lebar 12 feet, clearance lateral 3 feet pada kedua sisi, dan rata-rata 8 akses/mil untuk tiap sisi. Jika kecepatan persentil-ke-85-nya adalah 52 mil/jam, berapa LOS pada ruas ini?

Jawaban

$$\begin{aligned} \text{FFS} &= \text{BFFS} - F_M - F_{LW} - F_{LC} - F_A \\ \text{BFFS} &= \text{kec persentil-85} - 2 \text{ mil/jam (interpolasi)} = 52 - 2 = 50 \text{ mil/jam} \\ F_M &= 1,6 \text{ mil/jam (tak terbagi; Tabel 7-13)} \\ F_{LW} &= 0,0 \text{ (lajur 12 feet; Tabel 7-11)} \\ F_{LC} &= 0,6 \text{ mil/jam (TLC = 6 + 3 = 9 feet; interpolasi Tabel 7-12)} \\ F_A &= 2,0 \text{ mil/jam (8 titik akses/mil; interpolasi Tabel 7-14)} \\ \text{FFS} &= 50 - 1,6 - 0,0 - 2,0 = 45,8 \text{ mil/jam} \end{aligned}$$

Tingkat arus pelayanan:

$$E_T = 4,5; E_R = 4 \text{ (Permukaan di daerah pegunungan; Tabel 7-16)}$$

$$\begin{aligned} f_{HV} &= \frac{1}{1 + P_T(E_T - 1) + P_R(E_R - 1)} = \frac{1}{1 + 0,08(4,5 - 1) + 0,07(4 - 1)} = 0,671 \\ v_p &= \frac{V}{\text{PHF} \times N \times f_{HV} \times f_p} = \frac{1500}{0,95 \times 2 \times 0,671 \times 0,85} = 1384 \text{ pc/h/ln} \end{aligned}$$

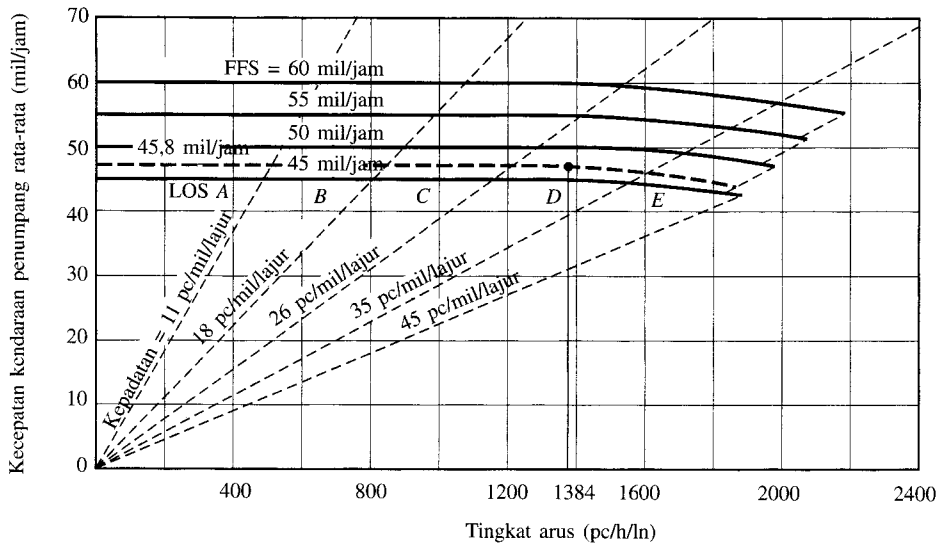
Dengan menggunakan V_p dan FFS, bacalah tingkat pelayanan D seperti diperlihatkan pada Gambar 7-E5, atau hitunglah kepadatan sebagai berikut:

$$\text{Kepadatan} = \frac{v_p}{\text{kecepatan rata-rata kendaraan penumpang}} = \frac{1384}{45,8} = 30,2 \text{ pc/mil/ln}$$

Dengan v_p , FFS, dan kepadatan, bacalah tingkat pelayanan D dari Tabel 7-10.

Contoh 6

Suatu ruas jalan raya 101 dekat pantai Oregon memiliki permukaan yang bergelombang dan memiliki kepadatan akses sebesar 10 akses/mil ke arah selatan dan 4 akses/mil ke arah utara. Ruas tersebut adalah jalan raya multi-lajur terbagi dengan fitur berikut: 4 lajur



Gambar 7-E5 LOS pada Jalan raya Multilajur (TRB, 2000).

dengan lebar 11 feet, rambu 4 feet dari lajur di sisi kanan, dan median dengan lebar 8 kaki. Batas kecepatan adalah 45 mil/jam. Jika ruas ini mempunyai nilai permintaan pada jam-puncak sebesar 2.300 kendaraan/jam pada salah satu arah dengan 10% truk dan PHF 0,90, berapakah perkiraan LOS untuk ruas jalan ini?

Jawaban

$$FFS = BFFS - F_{LW} - F_{LC} - F_M - F_A$$

BFFS = batas kecepatan yang ditetapkan + 7 mil/jam = 45 mil/jam + 7 mil/jam = 52 mil/jam

$$F_{LW} = 1,9 \text{ mil/jam (Tabel 7-11)}$$

$$F_{LC} = 0,4 \text{ mil/jam (TLC} = 4 + 6 = 10 \text{ kaki; Tabel 7-12)}$$

$$F_M = 0,0 \text{ (jalan raya terbagi; Tabel 7-13)}$$

$$F_A \text{ (ke arah selatan)} = 2,5 \text{ mil/jam (10 titik akses/mil; Tabel 7-14)}$$

$$F_A \text{ (ke arah utara)} = 1,0 \text{ mil/jam (4 titik akses/mil; Tabel 7-14)}$$

$$FFS \text{ (ke arah selatan)} = 52 - 0,0 - 1,9 - 0,4 - 2,5 = 47,2 \text{ mil/jam}$$

$$FFS \text{ (ke arah utara)} = 52 - 0,0 - 1,9 - 0,4 - 1,0 = 48,7 \text{ mil/jam}$$

Diketahui:

Volume = 2.300 volume/jam permukaan bergelombang, 10% truk

PHF = 0,90

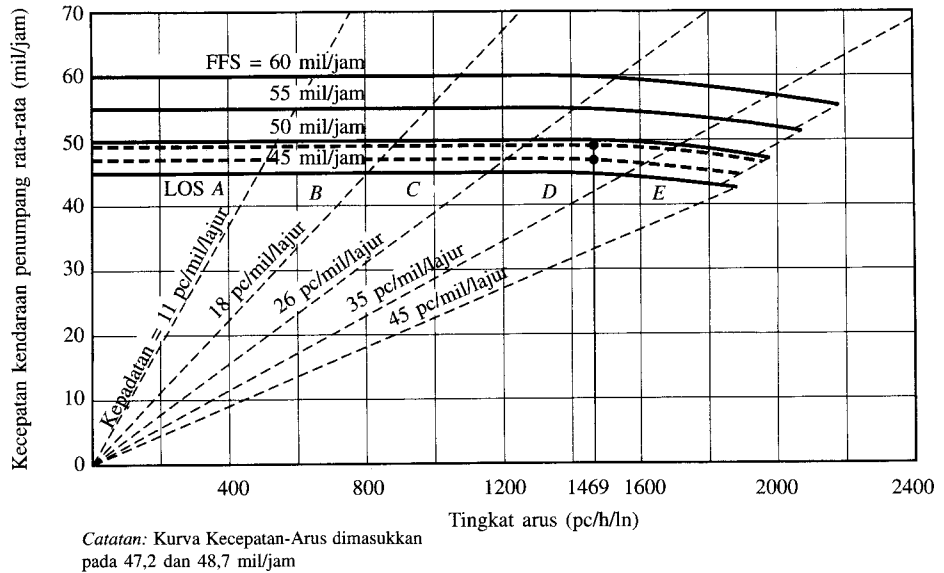
N = 2 lajur di tiap arah

Asumsi $f_p = 1$

Penyesuaian kendaraan-berat:

$$E_T = 2,5 \text{ untuk permukaan bergelombang (Tabel 7-16)}$$

$$f_{HV} = \frac{1}{1 + P_T(E_T - 1)} = \frac{1}{1 + 0,10(2,5 - 1)} = 0,870$$



Gambar 7-E6 LOS pada Jalan raya Multilajur (TRB, 2000).

Tingkat arus pelayanan:

$$v_p = \frac{V}{PHF \times N \times f_{HV} \times f_p} = \frac{2300}{0,90 \times 2 \times 0,870 \times 1} = 1469 \text{ pc/h/ln}$$

$$\begin{aligned} \text{Kepadatan (ke arah selatan)} &= \frac{v_p}{\text{kecepatan rata-rata kendaraan penumpang}} \\ &= \frac{1469}{47,0} = 31,3 \text{ pc/ mi/ln} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Kepadatan (ke arah utara)} &= \frac{v_p}{\text{kecepatan rata-rata kendaraan penumpang}} \\ &= \frac{1469}{48,5} = 30,3 \text{ pc/mi/ln} \end{aligned}$$

Perlu dicatat bahwa kecepatan kendaraan penumpang rata-rata dapat diperoleh dari Gambar 7-E6. Baik kepadatan ke arah utara maupun ke arah selatan masuk ke dalam LOS D, seperti dijumpai pada Tabel 7-10 atau kurva arus-kecepatan. Lihat Gambar 7-E6.

5. KAPASITAS JALAN RAYA DUA-LAJUR

5.1 Karakteristik dan Parameter

Jalan raya dua-lajur adalah suatu jalan raya tak terbagi yang memiliki dua-lajur, masing-masing digunakan oleh lalu-lintas pada masing-masing arah. Jalan raya dua-lajur sangat penting karena panjang jalan jenis ini sangat dominan dari seluruh sistem jalan raya. Di Amerika Serikat hanya 30% dari seluruh perjalanan terjadi di jalan dua-lajur di luar kota, meskipun jaringan ini merupakan 80% dari seluruh jalan raya di daerah luar kota. Operasi lalu-lintas

pada jalan raya dua-lajur dan dua-arah berbeda dengan operasi lalu-lintas pada fasilitas-fasilitas arus-takterhenti lainnya. Berpindah lajur dan mendahului kendaraan lain hanya memungkinkan dengan mengambil lajur dari arus lalu-lintas yang datang dari arah berlawanan. Pengemudi harus menyesuaikan kecepatan perjalanannya seiring dengan meningkatnya volume lalu-lintas dan menurunkan kemampuan untuk mendahului.

Banyak jalan raya dua-lajur menghubungkan pembangkit-pembangkit lalu-lintas utama atau menjadi sarana penghubung utama pada sistem jalan raya nasional. Mobilitas yang efisien adalah fungsi utama dari jalan-jalan raya dua-lajur utama ini. Rute-rute tersebut melayani perjalanan komersial dan rekreasional jarak jauh. Operasi yang senantiasa pada kecepatan tinggi dan keterlambatan gerak yang jarang terjadi adalah faktor penting yang harus dimiliki oleh fasilitas jenis ini, yang dikategorikan sebagai Kelas I untuk tujuan analisis. Fasilitas Kelas I paling sering diperuntukkan bagi perjalanan jarak jauh atau dijadikan sebagai jalur penghubung antara berbagai fasilitas yang melayani perjalanan jarak-jauh (TRB, 2000).

Jalan raya dua-lajur luar kota lainnya terutama bertujuan untuk menyediakan aksesibilitas. Jalan raya ini sering kali melayani volume lalu-lintas yang relatif rendah dan menyediakan akses jalan yang tahan segala cuaca ke suatu daerah. Kecepatan tinggi bukanlah perhatian utama, dan penundaan—yang ditandai dengan terbentuknya iring-iringan kendaraan—lebih relevan untuk dijadikan sebagai ukuran kualitas pelayanan. Karena biasanya jalan dua-lajur menawarkan pemandangan dan melayani daerah rekreasi, kecepatan tinggi bukan sesuatu yang dianggap penting atau pun dikehendaki. Jalan semacam ini kemungkinan melalui permukaan yang bergelombang dan umumnya dikelompokkan ke dalam Kelas II. Fasilitas Kelas II kebanyakan melayani perjalanan yang relatif pendek, yaitu di bagian awal dan akhir dari perjalanan yang lebih panjang, atau perjalanan di mana pemandangan memainkan peranan yang penting. Terdapat dua ukuran untuk menjelaskan kualitas pelayanan jalan raya dua-lajur: persentase waktu-tempuh-mengikuti dan kecepatan tempuh rata-rata.

Persentase waktu-tempuh-mengikuti menggambarkan kebebasan untuk bermanuver dan kenyamanan serta kemudahan perjalanan. Persentase ini merupakan persentase rata-rata waktu tempuh di mana kendaraan harus berjalan dalam kelompok di belakang kendaraan yang lebih lambat akibat tidak mampu untuk mendahului. Persentase waktu-tempuh-mengikuti sulit untuk diukur di lapangan. Bagaimanapun, persentase kendaraan yang berjalan dengan headway yang kurang dari 3 detik pada lokasi tertentu dapat digunakan sebagai ukuran pengganti.

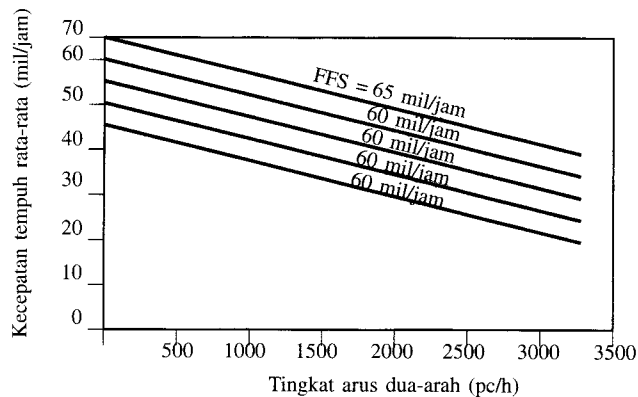
Kecepatan tempuh rata-rata mencerminkan mobilitas di atas jalan raya dua-lajur. Kecepatan rata-rata ini dihitung sebagai panjang suatu ruas jalan raya dibagi dengan waktu tempuh rata-rata dari seluruh kendaraan yang melintasi ruas tersebut pada dua-arah selama interval waktu tertentu. Kriteria LOS menggunakan dua jenis ukuran performa ini. Pada jalan raya Kelas I, mobilitas yang efisien harus terpenuhi, dan LOS ditentukan dengan melihat persentase waktu-tempuh-mengikuti dan kecepatan tempuh rata-rata. Pada jalan raya Kelas II, mobilitas relatif kurang penting, sehingga LOS ditentukan hanya dalam persentase waktu-tempuh-mengikuti, tanpa memperhitungkan kecepatan tempuh rata-rata. Pengemudi akan lebih menerima persentase waktu-tempuh-mengikuti yang lebih tinggi pada fasilitas Kelas II dibandingkan pada fasilitas Kelas I, karena fasilitas Kelas II biasanya melayani tujuan perjalanan yang berbeda dan jaraknya lebih pendek. Kebanyakan jalan arteri digolongkan ke dalam Kelas I; dan kebanyakan jalan di zona pengumpul dan jalan lokal digolongkan ke dalam Kelas II. Bagaimanapun, determinan utama dari kelas suatu fasilitas dalam analisis operasional adalah ekspektasi dari pengguna kendaraan. Sebagai contoh, jalur antar kota yang melalui daerah gunung dapat digolongkan sebagai fasilitas Kelas II apabila pengguna kendaraan melihat bahwa kecepatan tinggi tidak mungkin dilakukan di jalan tersebut.

5.2 Kondisi Dasar

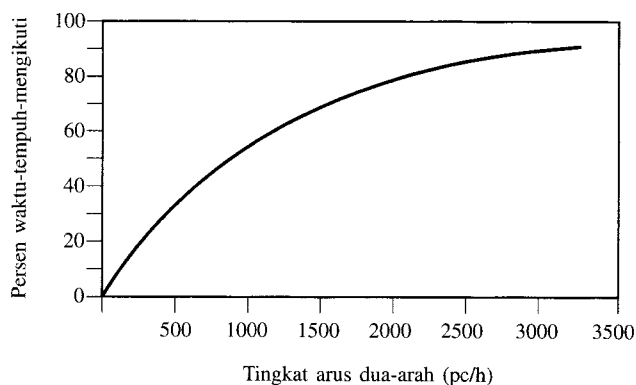
Hubungan dasar antara tingkat arus dua-arah, kecepatan tempuh rata-rata, dan persentase waktu tempuh-mengikuti diperlihatkan pada Gambar 7-6 berdasarkan kondisi lalu-lintas dan jalan dasar. Kondisi dasar meliputi hal-hal berikut ini:

1. Lebar lajur lebih besar atau sama dengan 12 feet
2. Lebar bahu jalan lebih besar atau sama dengan 6 feet
3. Tidak ada zone “dilarang mendahului” di jalan raya
4. Seluruh kendaraan di aliran lalu-lintas adalah kendaraan penumpang
5. Tidak ada hambatan terhadap aliran lalu-lintas karena adanya alat pengatur lalu-lintas atau kendaraan yang berputar
6. Permukaan jalan rata
7. Pembagian arah lalu-lintas 50/50 (hanya untuk analisis arus dua-arah)

Jalan raya dua-lajur dapat dianalisis apakah itu sebagai ruas-ruas dua-arah yang menghasilkan ukuran-ukuran performa lalu-lintas untuk kedua-arah sekaligus, atau sebagai ruas-ruas satu-arah di mana tiap arah diperhitungkan secara terpisah. Kriteria LOS untuk jalan raya dua-lajur dalam Kelas I diperlihatkan pada Tabel 7-20 dan Gambar 7-7. Kriteria Kelas II diperlihatkan pada Tabel 7-21. Kriteria LOS berlaku untuk seluruh jenis jalan raya dua-arah, termasuk ruas-



(a) Kecepatan tempuh rata-rata vs arus dua-arah



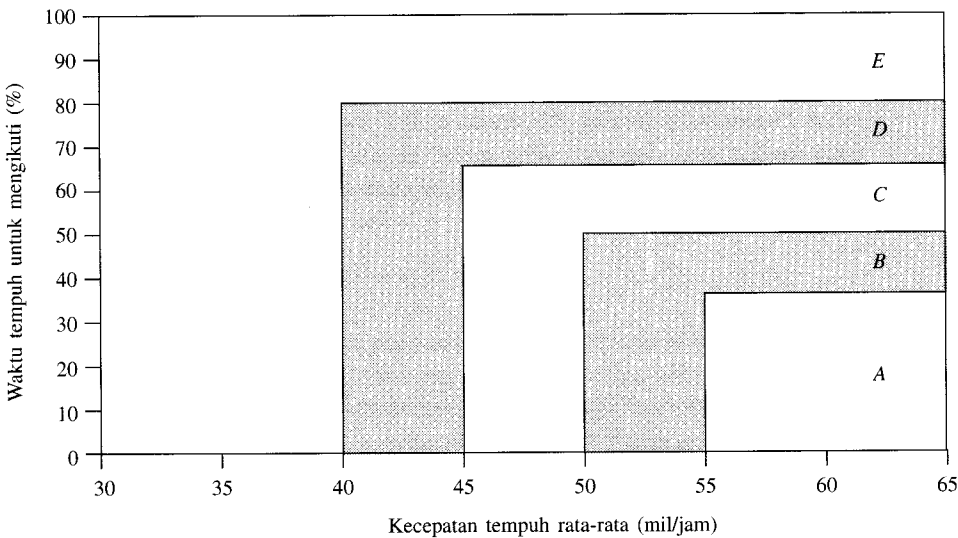
(b) Persen waktu tempuh untuk mengikuti vs arus dua-arah

Gambar 7-6 Hubungan Arus untuk Kecepatan-Arus dan Persentase Waktu-Tempuh-Mengikuti pada Ruas Dua-Arah dengan Kondisi Dasar (TRB, 2000).

Tabel 7-20 Kriteria LOS untuk Jalan raya Dua-Lajur Kelas I

LOS	Persen Waktu-Tempuh-Mengikuti	Kecepatan Tempuh Rata-rata (mil/jam)
A	≤ 35	> 55
B	$> 35-50$	$> 50-55$
C	$> 50-65$	$> 45-50$
D	$> 65-80$	$> 40-45$
E	> 80	≤ 40

Catatan: LOS F berlaku setiap kali tingkat arus melebihi kapasitas ruas jalan.
Sumber: TRB, 2000.



Gambar 7-7 Kriteria LOS (Grafik) untuk Jalan raya Dua-Lajur Kelas I (TRB, 2000).

ruas dua-arah yang diperpanjang, ruas satu-arah yang diperpanjang, tanjakan tertentu dan turunan tertentu. Ruas dari jalan raya Kelas I harus memenuhi kriteria baik untuk persentase waktu-tempuh-mengikuti dan kecepatan tempuh rata-rata.

5.3 Ruas Jalan Dua-Arah

Metodologi ruas dua-arah menghitung, secara estimasi, ukuran-ukuran pergerakan lalu-lintas di sepanjang suatu bagian jalan raya, berdasarkan bentuk permukaan, desain geometris, dan kondisi lalu-lintas. Permukaan jalan dapat diklasifikasikan menjadi permukaan datar dan permukaan naik turun. Permukaan jalan di daerah pegunungan ditinjau dalam analisis operasional untuk jalan menaik dan jalan menurun tertentu. Metodologi ini khususnya digunakan untuk bagian jalan raya dengan panjang minimal 2 mil.

5.3.1 Menentukan Kecepatan Arus-Bebas Tahap kunci dalam menghitung LOS dari jalan raya dua-lajur adalah menentukan kecepatan arus-bebas (FFS). FFS diukur dengan menggunakan kecepatan rata-rata lalu-lintas pada kondisi arus lengang sampai pada arus-arus dua-arah sebanyak 200 kendaraan penumpang /jam. Penyesuaian volume dapat dilakukan apabila

Tabel 7-21 Kriteria LOS untuk Jalan raya Dua-Lajur Kelas II

LOS	Persen Waktu-Tempuh-Mengikuti
A	≤ 40
B	$> 40-55$
C	$> 55-70$
D	$> 70-85$
E	> 85

Catatan: LOS F berlaku ketika tingkat arus melebihi kapasitas ruas jalan.

Sumber: TRB, 2000.

FFS diukur pada tingkat arus yang lebih tinggi. FFS dapat ditentukan secara langsung dari pengamatan kecepatan di lapangan atau dapat pula ditentukan menggunakan petunjuk yang tersedia. Petunjuk tentang pengamatan kecepatan dapat dijumpai dalam *Manual of Transportation Engineering Studies* (Robertson et al., 1994). Jika pengamatan kecepatan harus dilakukan pada tingkat arus dua-arah yang melebihi 200 kendaraan penumpang/jam, maka FFS dapat dihitung berdasarkan data lapangan sebagaimana Persamaan (9) berikut ini:

$$FFS = S_{FM} + 0,00776 \frac{V_f}{f_{HV}} \quad (9)$$

di mana

FFS = perkiraan kecepatan arus-bebas (mil/jam)

S_{FM} = kecepatan rata-rata lalu-lintas yang diukur di lapangan (mil/jam)

V_f = tingkat arus yang diamati untuk periode di mana data lapangan diperoleh (kendaraan/jam)

F_{HV} = faktor penyesuaian kendaraan berat, ditentukan dari Persamaan (12)

FFS dapat ditentukan secara tidak langsung jika data lapangan tidak tersedia. Namun ini sangat sulit karena FFS dari jalan raya dua-lajur dapat bervariasi dari 45 sampai 65 mil/jam. Untuk memperkirakan FFS, seorang analis harus menggolongkan kondisi operasi dari jalan berdasarkan kecepatan arus-bebas dasar (BFFS) yang mencerminkan ciri-ciri lalu-lintas dan alinyemen jalan. Tidak ada petunjuk yang jelas dalam memperkirakan BFFS karena rentang yang sangat luas dari kondisi kecepatan dan berbagai dampak dari faktor lokal dan regional. Hasil-hasil estimasi dari BFFS dapat dikembangkan berdasarkan data kecepatan dan pengetahuan lapangan tentang kondisi operasi pada jalan yang serupa. FFS dapat diperkirakan seduhanya dengan menggunakan Persamaan (10).

$$FFS = BFFS - f_{LS} - f_A \quad (10)$$

di mana

FFS = perkiraan FFS (mil/jam)

BFFS = FFS dasar (mil/jam)

f_{LS} = penyesuaian untuk lebar lajur dan lebar bahu jalan, dari Tabel 7-22

f_A = penyesuaian untuk titik akses, dari Tabel 7-23

Tabel 7-22 Penyesuaian (f_{LS}) untuk Lebar Lajur dan Lebar Bahu Jalan

	Pengurangan FFS (mil/jam)			
	Lebar Bahu Jalan (feet)			
Lebar Lajur (feet)	$\geq 0 < 2$	$\geq 2 < 4$	$\geq 4 < 6$	≥ 6
9 < 10	6,4	4,8	3,5	2,2
$\geq 10 < 11$	5,3	3,7	2,4	1,1
$\geq 11 < 12$	4,7	3,0	1,7	0,4
≥ 12	4,2	2,6	1,3	0,0

Sumber: TRB, 2000.

Tabel 7-23 Penyesuaian (f_A) untuk Kepadatan Titik-Akses

Titik-titik Akses/mil	Pengurangan FFS (mil/jam)
0	0,0
10	2,5
20	5,0
30	7,5
40	10,0

Sumber: TRB, 2000.

Ketika data tentang jumlah titik-akses pada ruas jalan raya dua-lajur tidak tersedia, nilai standar pada Tabel 7-24 dapat digunakan. Tidak perlu ada penyesuaian untuk lalu-lintas komuter atau nonkomuter karena tidak terdapat perbedaan yang signifikan. Bagaimanapun juga, diperkirakan bahwa pengendara pulang pergi atau pengendara reguler lainnya akan menggunakan jalan secara lebih efisien daripada pengendara rekreasi.

5.3.2 Menentukan Tingkat Arus Permintaan Tujuan dari analisis operasional umumnya adalah menentukan tingkat pelayanan untuk fasilitas yang ada atau yang direncanakan yang beroperasi pada kondisi permintaan lalu-lintas yang ada atau yang direncanakan. Penyesuaian harus dilakukan terhadap volume permintaan per-jam, apakah itu berdasarkan perhitungan lalu-lintas atau berdasarkan perkiraan, dengan menggunakan Persamaan (11) untuk memperoleh tingkat arus padanan kendaraan-penumpang.

$$v_p = \frac{V}{PHF \times f_G \times f_{HV}} \quad (11)$$

di mana

v_p = tingkat arus padanan kendaraan-penumpang untuk periode 15-menit puncak (kendaraan-penumpang/jam)

V = volume permintaan untuk jam-puncak penuh (kendaraan/jam)

PHF = faktor jam-puncak

f_G = faktor penyesuaian kelandaian (Tabel 7-25)

f_{HV} = faktor penyesuaian kendaraan-berat [Persamaan(12)]

5.3.3 Faktor Penyesuaian Kelandaian Nilai-nilai faktor penyesuaian kelandaian, f_G , disajikan pada Tabel 7-25 untuk memperkirakan kecepatan tempuh rata-rata dan Tabel 7-26 untuk memperkirakan persentase waktu-tempuh-mengikuti. Faktor ini memperhitungkan pengaruh permukaan jalan pada kecepatan perjalanan dan persentase waktu-tempuh-mengikuti, sekalipun tidak ada kendaraan berat.

Tabel 7-24 Kepadatan Titik-Akses Default

Jenis Pembangunan	Nilai Default	Titik-titik Akses/mil (Satu Sisi)
Daerah luar kota	8	0–10
Daerah di pinggir kota dengan kepadatan rendah	16	11–20
Daerah di pinggir kota dengan kepadatan tinggi	25	≥ 21

Sumber: TRB, 2000.

Tabel 7-25 Faktor Penyesuaian kelandaian (f_G) untuk Penentuan Kecepatan pada Ruas Jalan Dua-Arah dan Satu-Arah

Rentang Tingkat Arus Dua-Arah (kendaraan penumpang/jam)	Rentang Tingkat Arus Satu-Arah (kendaraan penumpang/jam)	Jenis Permukaan	
		Rata	Bergelombang
0–600	0–300	1,00	0,71
> 600–1200	> 300–600	1,00	0,93
> 1200	> 600	1,00	0,99

Sumber: TRB, 2000.

5.3.4 Penyesuaian untuk Kendaraan Berat Untuk jalan raya dua-lajur, kondisi dasar mengasumsikan bahwa aliran lalu-lintas hanya terdiri dari kendaraan penumpang. Dengan demikian, volume lalu-lintas harus disesuaikan ke suatu tingkat arus sepadan yang dinyatakan dalam kendaraan penumpang/jam. Penyesuaian ini dilakukan dengan menggunakan faktor f_{HV} dalam Persamaan (11), di mana f_{HV} dinyatakan dalam proses dua-tahap. Padanan kendaraan penumpang diperoleh dari Tabel 7-27 untuk memperkirakan kecepatan dan dari Tabel 7-28 untuk memperkirakan persentase waktu-tempuh-mengikuti. Bis dimasukkan ke dalam golongan truk. Permukaan dari ruas dua-arah yang diperpanjang harus dikategorikan sebagai ruas rata atau bergelombang. Ketika E_T dan E_R telah ditentukan, maka faktor penyesuaian untuk kendaraan berat dapat dihitung dengan menggunakan Persamaan (12).

$$f_{HV} = \frac{1}{1 + P_T(E_T - 1) + P_R(E_R - 1)} \quad (12)$$

di mana

P_T = proporsi truk/bis di dalam aliran lalu-lintas

Tabel 7-26 Faktor Penyesuaian Kelandaian (f_G) untuk Penentuan Persen Waktu-Tempuh-Mengikuti pada Ruas Jalan Dua-Arah dan Satu Arah

Rentang Tingkat Arus Dua-Arah (kendaraan penumpang/jam)	Rentang Tingkat Arus Satu-Arah (kendaraan penumpang/jam)	Jenis Permukaan	
		Rata	Bergelombang
0–600	0–300	1,00	0,77
> 600–1200	> 300–600	1,00	0,94
> 1200	> 600	1,00	1,00

Sumber: TRB, 2000.

Tabel 7-27 Padanan Kendaraan-Penumpang untuk Truk dan Kendaraan Rekreasi untuk Penentuan Kecepatan pada Ruas Jalan Dua-Arah dan Satu-Arah

Jenis Kendaraan	Rentang Tingkat Arus Dua-Arah (kendaraan penumpang/jam)	Rentang Tingkat Arus Satu-Arah (kendaraan penumpang/jam)	Jenis Permukaan	
			Rata	Bergelombang
Truk, E_T	0–600	0–300	1,7	2,5
	> 600–1200	> 300–600	1,2	1,9
	> 1200	> 600	1,1	1,5
Kendaraan Rekreasional, E_R	0–600	0–300	1,0	1,1
	> 600–1200	> 300–600	1,0	1,1
	> 1200	> 600	1,0	1,1

Sumber: TRB, 2000.

P_R = proporsi kendaraan rekreasional di dalam aliran lalu-lintas

E_T = padanan kendaraan-penumpang untuk truk/bis, diperoleh dari Tabel 7-27 atau 7-28.

E_R = padanan kendaraan-penumpang untuk kendaraan rekreasional, diperoleh dari Tabel 7-27 atau 7-28

Tabel-tabel untuk faktor penyesuaian kelandaian f_G dan padanan-padanan kendaraan-penumpang untuk truk/bis dan kendaraan rekreasi (Tabel 7-25 sampai 7-28) digolongkan berdasarkan tingkat arus yang dinyatakan dalam kendaraan penumpang/jam. Bagaimanapun, baru setelah Persamaan (11) diterapkan, tingkat arus dari kendaraan penumpang/jam dapat diketahui. Oleh karena itu, digunakanlah metode iterasi. Pertama tentukan tingkat arus, dalam kendaraan/jam, sebagai V/PHF . Kedua, pilihlah nilai f_G , E_T , dan E_R yang sesuai untuk tingkat arus tersebut dari Tabel. Kemudian, tentukan v_p dari nilai-nilai tersebut dengan menggunakan Persamaan (11) dan (12). Jika nilai v_p hasil perhitungan lebih kecil daripada batas atas rentang tingkat-arus yang dipilih, maka nilai v_p hasil perhitungan harus digunakan. Jika v_p lebih besar dari batas atas rentang tingkat-arus yang dipilih, ulangi kembali proses di atas berturut-turut untuk rentang-rentang yang lebih tinggi sampai nilai v_p yang sesuai diperoleh. Karena rentang tertinggi meliputi seluruh tingkat arus yang lebih besar dari 1.200 kendaraan penumpang/jam pada kedua-arah jalan sekaligus, maka rentang ini dapat digunakan jika ada nilai hasil-perhitungan yang melewati batas atas dari kedua rentang tingkat arus yang lebih rendah.

Kecepatan tempuh rata-rata diperkirakan dengan menggunakan Persamaan (13).

$$ATS = FFS - 0,00776v_p - f_{np} \quad (13)$$

Tabel 7-28 Padanan Kendaraan Penumpang untuk Truk dan Kendaraan Rekreasional untuk Penentuan Persen Waktu-Tempuh-Mengikuti pada Ruas Jalan Dua-Arah dan Satu-Arah

Jenis Kendaraan	Rentang Tingkat Arus Dua-Arah (kendaraan penumpang/jam)	Rentang Tingkat Arus Satu-Arah (kendaraan penumpang/jam)	Jenis Permukaan	
			Rata	Bergelombang
Truk E_T	0–600	0–300	1,1	1,8
	> 600–1200	> 300–600	1,1	1,5
	> 1200	> 600	1,0	1,0
Kendaraan Rekreasional	0–600	0–300	1,0	1,0
	> 600–1200	> 300–600	1,0	1,0
	> 1200	> 600	1,0	1,0

Sumber: TRB, 2000.

Tabel 7-29 Penyesuaian (f_{np}) untuk Efek Zona-zona Dilarang Mendahului terhadap Kecepatan Tempuh Rata-rata pada Ruas Jalan Dua-Arah.

Tingkat Permintaan Arus Dua-Arah (kendaraan/jam)	Pengurangan Kecepatan Tempuh Rata-rata (mil/jam)					
	Zona Dilarang Mendahului (%)					
	0	20	40	60	80	100
0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
200	0,0	0,6	1,4	2,4	2,6	3,5
400	0,0	1,7	2,7	3,5	3,9	4,5
600	0,0	1,6	2,4	3,0	3,4	3,9
800	0,0	1,4	1,9	2,4	2,7	3,0
1000	0,0	1,1	1,6	2,0	2,2	2,6
1200	0,0	0,8	1,2	1,6	1,9	2,1
1400	0,0	0,6	0,9	1,2	1,4	1,7
1600	0,0	0,6	0,8	1,1	1,3	1,5
1800	0,0	0,5	0,7	1,0	1,1	1,3
2000	0,0	0,5	0,6	0,9	1,0	1,1
2200	0,0	0,5	0,6	0,9	0,9	1,1
2400	0,0	0,5	0,6	0,8	0,9	1,1
2600	0,0	0,5	0,6	0,8	0,9	1,0
2800	0,0	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9
3000	0,0	0,5	0,6	0,7	0,7	0,8
3200	0,0	0,5	0,6	0,6	0,6	0,7

Source: TRB, 2000.

di mana

ATS = kecepatan tempuh rata-rata untuk kedua-arah perjalanan yang dikombinasikan (mil/jam)

f_{np} = penyesuaian untuk persentase zona "dilarang mendahului" (lihat Tabel 7-29)

v_p = tingkat arus padanan kendaraan-penumpang untuk periode 15 menit puncak (kendaraan penumpang/jam)

FFS yang digunakan dalam Persamaan (13) adalah nilai yang diperkirakan dengan menggunakan Persamaan (9) atau (10). Penyesuaian untuk efek zona "dilarang mendahului" diperlihatkan pada Tabel 7-29. Nilai v_p diperoleh dari Persamaan (11) dengan menggunakan nilai perhitungan f_{HV} yang dihitung dengan padanan kendaraan penumpang dalam Tabel 7-27.

Persentase waktu-tempuh-mengikuti dapat diperkirakan dengan menggunakan Persamaan (14). Nilai yang sesuai dari persentase dasar waktu-tempuh-mengikuti dapat ditentukan dengan Persamaan (15)

$$PTSF = BPTSF + f_{dnp} \quad (14)$$

$$BPTSF = 100 (1 - e^{-0,000879v_p}) \quad (15)$$

di mana

PTSF = *percent time-spent-following* atau persentase waktu-tempuh-mengikuti.

BPTSF = PTSF dasar untuk kedua-arah perjalanan yang dikombinasikan [gunakan Persamaan (15)]

f_{dnp} = penyesuaian untuk efek gabungan dari penyebaran satu-arah dari lalu-lintas dan persentase zona dilarang mendahului atas persentase waktu-tempuh-mengikuti

Tabel 7-30 Penyesuaian ($f_{d/np}$) untuk Efek Kombinasi Penyebaran Satu-Arah Lalu-lintas dan Persentase Zona Dilarang Mendahului terhadap Persen Waktu-Tempuh-Mengikuti pada Ruas Jalan Dua-Arah

Tingkat Arus Dua-Arah, v_p (pc/h)	Peningkatan dalam Persen Waktu-Tempuh-Mengikuti (%)					
	Zona Dilarang Mendahului (%)					
	0	20	40	60	80	100
Pembagian Arah Jalur = 50/50						
≤ 200	0,0	10,1	17,2	20,2	21,0	21,8
400	0,0	12,4	19,0	22,7	23,8	24,8
600	0,0	11,2	16,0	18,7	19,7	20,5
800	0,0	9,0	12,3	14,1	14,5	15,4
1400	0,0	3,6	5,5	6,7	7,3	7,9
2000	0,0	1,8	2,9	3,7	4,1	4,4
2600	0,0	1,1	1,6	2,0	2,3	2,4
3200	0,0	0,7	0,9	1,1	1,2	1,4
Pembagian Arah Jalur = 60/40						
≤ 200	1,6	11,8	17,2	22,5	23,1	23,7
400	0,0	11,7	16,2	20,7	21,5	22,2
600	0,0	11,5	15,2	18,9	19,8	20,7
800	0,0	7,6	10,3	13,0	13,7	14,4
1400	0,0	3,7	5,4	7,1	7,6	8,1
2000	0,0	2,3	3,4	3,6	4,0	4,3
≥ 2600	0,0	0,9	1,4	1,9	2,1	2,2
Pembagian Arah Jalur = 70/30						
≤ 200	2,8	13,4	19,1	24,8	25,2	25,5
400	1,1	12,5	17,3	22,0	22,6	23,2
600	0,0	11,6	15,4	19,1	20,0	20,9
800	0,0	7,7	10,5	13,3	14,0	14,6
1400	0,0	3,8	5,6	7,4	7,9	8,3
≥ 2000	0,0	1,4	4,9	3,5	3,9	4,2
Pembagian Arah Jalur = 80/20						
≤ 200	5,1	17,5	24,3	31,0	31,3	31,6
400	2,5	15,8	21,5	27,1	27,6	28,0
600	0,0	14,0	18,6	23,2	23,9	24,5
800	0,0	9,3	12,7	16,0	16,5	17,0
1400	0,0	4,6	6,7	8,7	9,1	9,5
≥ 2000	0,0	2,4	3,4	4,5	4,7	4,9
Pembagian Arah Jalur = 90/10						
≤ 200	5,6	21,6	29,4	37,2	37,4	37,6
400	2,4	19,0	25,6	32,2	32,5	32,8
600	0,0	16,3	21,8	27,2	27,6	28,0
800	0,0	10,9	14,8	18,6	19,0	19,4
≥ 1400	0,0	5,5	7,8	10,0	10,4	10,7

Sumber: TRB, 2000.

Satu penyesuaian yang merepresentasikan efek gabungan antara penyebaran satu-arah dari lalu-lintas dan persentase zona dilarang mendahului ($f_{d/np}$) disajikan pada Tabel 7-30.

5.3.5 Menentukan Tingkat Pelayanan (LOS) Suatu tingkat arus padanan kendaraan penumpang (v_p) sebesar 3.200 kendaraan penumpang/jam dianggap sebagai kapasitas dua-arah. Ketika ruas dari suatu jalan Kelas I memiliki permintaan lebih kecil daripada kapasitasnya, LOS dapat ditentukan dengan cara mencari sebuah titik pada Gambar 7-7 yang menunjukkan perkiraan persentase waktu-tempuh-mengikuti dan kecepatan tempuh rata-rata. Untuk jalan Kelas II, LOS ditentukan dengan membandingkan persentase waktu-tempuh-mengikuti dengan kriteria pada Tabel 7-21. Meskipun kecepatan tempuh rata-rata tidak diperhitungkan dalam penentuan LOS untuk jalan raya Kelas II, perkiraan tersebut akan berguna dalam mengevaluasi kualitas pelayanan sehingga harus diikutsertakan dalam analisis.

Ukuran-ukuran performa lalu-lintas tambahan berikut juga dapat ditentukan, yang dinyatakan dalam Persamaan (16) sampai (19):

$$v/c = \frac{v_p}{c} \quad (16)$$

di mana

v/c = perbandingan (rasio) volume dan kapasitas

c = kapasitas dua-arah, biasanya 3.200 kendaraan penumpang/jam untuk ruas jalan dua-arah dan 1.700 untuk ruas jalan satu-arah.

v_p = tingkat arus padanan kendaraan-penumpang untuk periode 15 menit puncak (kendaraan penumpang/jam).

$$VMT_{15} = 0,25 \left(\frac{V}{PHF} \right) L_t \quad (17)$$

di mana

VMT_{15} = total jarak kendaraan-mil yang ditempuh pada ruas analisis selama periode 15 menit puncak (kendaraan-mil).

L_t = panjang total dari ruas analisis (mil)

$$VMT_{60} = V \times L_t \quad (18)$$

di mana

VMT_{60} = total perjalanan pada ruas jalan yang dianalisis selama jam-puncak (kendaraan-mil).

$$TT_{15} = \frac{VMT_{15}}{ATS} \quad (19)$$

di mana

TT_{15} = total waktu tempuh untuk seluruh kendaraan pada ruas jalan yang dianalisis selama periode 15-menit puncak (kendaraan-jam)

ATS sama dengan yang diperoleh dari Persamaan (13).

5.4 Ruas Jalan Satu-Arah

Tiga jenis ruas jalan satu-arah adalah sebagai berikut: (1) ruas jalan satu arah yang diperpanjang, (2) jalan menanjak khusus, dan (3) jalan menurun khusus. Metodologi untuk ruas jalan satu

arah serupa dengan metodologi ruas jalan dua-arah, kecuali bahwa ruas ini memperkirakan ukuran performa lalu-lintas dan LOS untuk satu arah perjalanan pada suatu waktu. Sudah tentu, dampak dari volume lalu-lintas dari arah yang berlawanan tetap diperhitungkan karena interaksi yang kuat dari perjalanan pada dua arah tersebut. Metodologi dasar ini berlaku untuk ruas jalan raya dengan satu lajur pada tiap arahnya. *Highway Capacity Manual* (TRB, 2000) menguraikan satu prosedur pelengkap untuk memperkirakan dampak operasional dari penambahan lajur mendahului di dalam suatu ruas satu-arah. Metodologi ruas satu-arah dapat diterapkan pada permukaan jalan mendatar atau bergelombang, biasanya pada ruas jalan raya minimal 2 mil. Suatu jalan dengan kelandaian 3% atau lebih dan dengan panjang minimal 0,6 mil harus dianalisis dengan prosedur untuk jalan menurun dan jalan menanjak yang spesifik. Permukaan jalan di daerah pegunungan diperlakukan melalui analisis jalan menanjak dan jalan menurun secara individual. Prosedur untuk jalan menanjak khusus dan jalan menurun khusus berbeda dengan prosedur ruas jalan yang diperpanjang terutama dalam penanganan dampak kendaraan beratnya. Berikut ini akan diuraikan tahap-tahap analisis ruas satu-arah.

5.4.1 Menentukan FFS FFS ditentukan dengan menggunakan salah satu dari metode-metode untuk ruas jalan dua-arah yang diperpanjang. Metode-metode ini berlaku untuk ruas satu-arah dan bukan untuk kedua arah yang digabung. Pengukuran lapangan, apabila dilakukan, harus dilakukan pada tingkat arus yang rendah untuk kedua arah.

5.4.2 Menentukan Tingkat Arus Permintaan Gunakan Persamaan (20), yang merupakan analogi dari Persamaan (11).

$$v_d = \frac{V}{PHF \times f_G \times f_{HV}} \quad (20)$$

di mana

v_d = tingkat arus padanan kendaraan-penumpang untuk periode 15-menit puncak pada arah yang dianalisis (kendaraan penumpang/jam)

V = volume permintaan untuk jam-puncak penuh pada arah yang dianalisis

f_G = faktor penyesuaian kelandaian

f_{HV} = faktor penyesuaian kendaraan-berat

Sebagaimana dalam prosedur ruas dua-arah, digunakan nilai v_d yang berbeda-beda untuk memperkirakan kecepatan tempuh rata-rata dan persentase waktu-tempuh-mengikuti, karena f_{HV} akan berbeda-beda untuk aplikasi-aplikasi ini. Tingkat arus permintaan dari arah yang berlawanan dihitung menggunakan Persamaan (21), yang analog dengan Persamaan (20).

$$v_o = \frac{V_o}{PHF \times f_G \times f_{HV}} \quad (21)$$

di mana,

v_o = tingkat arus padanan kendaraan-penumpang untuk periode 15-menit puncak pada jalan dari arah yang berlawanan

V_o = volume permintaan untuk jam-puncak penuh pada jalan dari arah yang berlawanan.

Nilai PHF dan f_{HV} yang digunakan pada Persamaan (21) juga harus berlaku untuk arah yang berlawanan. Secara umum, PHF harus sama dengan nilai yang digunakan untuk jalan satu arah. Jika PHF tidak tersedia dari data lapangan, nilai default pada Tabel 7-31 dapat digunakan.

Tabel 7-31 Nilai Default untuk Jalan raya Dua-Lajur

Lokasi	Faktor Jam-Puncak	
Luar Kota	0,88	
Perkotaan	0,92	
Jenis Permukaan	Zona Dilarang Mendahului	
Rata	20	
Bergelombang	50	
Pegunungan	80	
Jenis	Pembagian	Arah Jalur
Jalan raya di Daerah Luar Kota	60/40	
Jalan raya di Perkotaan	60/40	
Jalan raya di Daerah Rekreasi	80/20	
Jenis Kendaraan	Persentase Kendaraan-Berat	
	Luar kota (%)	Perkotaan (%)
Truk (termasuk Bis)	14	2
Kendaraan Rekreasional (RV)	4	0

Sumber: TRB, 2000.

5.4.3 Penyesuaian untuk Kelandaian dan Kendaraan Berat Padanan kendaraan penumpang untuk truk (E_T) dan kendaraan rekreasional (E_R) ditentukan dan digunakan bersama dengan proporsi truk dan proporsi kendaraan rekreasional dalam Persamaan (12). Akan tetapi, nilai E_T dan E_R untuk ruas satu arah yang diperpanjang pada permukaan datar atau bergelombang ditentukan dari Tabel 7-27 dan 7-28. Nilai faktor penyesuaian kelandaian (f_G) diperoleh dari Tabel 7-25 dan 7-26.

Setiap kelandaian sebesar 3% atau lebih dan panjang jalan 0,25 mil atau lebih dapat dianalisis sebagai jalan menanjak yang spesifik; namun, setiap jalan menanjak atau jalan menurun sebesar 3% atau lebih dan panjang 0,6 mil atau lebih harus dianalisis sebagai kelandaian spesifik. Ini meliputi seluruh jalan menanjak atau menurun pada ruas satu-arah di permukaan yang bergunung. Jika kelandaianya bervariasi, analisis harus dilakukan dengan menghitung kelandaian rata-rata. Karena definisi jalan menanjak dan menurun spesifik relatif sama, arah berlawanan dari setiap jalan menanjak spesifik harus dianalisis sebagai jalan menurun spesifik.

Nilai f_G yang digunakan dalam memperkirakan kecepatan tempuh rata-rata untuk jalan menanjak spesifik diperlihatkan pada Tabel 7-32. Nilai f_G untuk memperkirakan persentase waktu tempuh-mengikuti pada jalan menanjak spesifik diperlihatkan pada Tabel 7-33. Padanan kendaraan-penumpang untuk truk (E_T) yang digunakan untuk memperkirakan kecepatan tempuh rata-rata dan persentase waktu-tempuh-mengikuti diperlihatkan pada Tabel 7-34 dan 7-35. Tabel 7-36 menyajikan padanan-padanan kendaraan-penumpang untuk kendaraan rekreasi (E_R) untuk memperkirakan kecepatan tempuh rata-rata pada jalan menanjak spesifik. Untuk memperkirakan persentase waktu-tempuh-mengikuti pada jalan menanjak spesifik, nilai E_R selalu 1,0 seperti diperlihatkan pada Tabel 7-35.

Untuk kebanyakan jalan menurun spesifik, faktor penyesuaian kelandaian f_G adalah 1,0, dan faktor penyesuaian kendaraan-berat f_{HV} ditentukan dengan padanan kendaraan penumpang

Tabel 7-32 Faktor Penyesuaian Kelandaian (f_G) untuk Memperkirakan Kecepatan Tempuh Rata-rata pada Jalan Menanjak Spesifik

Kelandaian (%)	Panjang Kelandaian (mil)	Faktor Penyesuaian Kelandaian, f_G		
		Rentang Tingkat Arus Satu-Arah, v_d (kendaraan penumpang/jam)		
		0–300	> 300–600	> 600
$\geq 3,0 < 3,5$	0,25	0,81	1,00	1,00
	0,50	0,79	1,00	1,00
	0,75	0,77	1,00	1,00
	1,00	0,76	1,00	1,00
	1,50	0,75	0,99	1,00
	2,00	0,75	0,97	1,00
	3,00	0,75	0,95	0,97
	$\geq 4,00$	0,75	0,94	0,95
$\geq 3,5 < 4,5$	0,25	0,79	1,00	1,00
	0,50	0,76	1,00	1,00
	0,75	0,72	1,00	1,00
	1,00	0,69	0,93	1,00
	1,50	0,68	0,92	1,00
	2,00	0,66	0,91	1,00
	3,00	0,65	0,91	0,96
	$\geq 4,00$	0,65	0,90	0,96
$\geq 4,5 < 5,5$	0,25	0,75	1,00	1,00
	0,50	0,65	0,93	1,00
	0,75	0,60	0,89	1,00
	1,00	0,59	0,89	1,00
	1,50	0,57	0,86	0,99
	2,00	0,56	0,85	0,98
	3,00	0,56	0,84	0,97
	$\geq 4,00$	0,55	0,82	0,93
$\geq 5,5 < 6,5$	0,25	0,63	0,91	1,00
	0,50	0,57	0,85	0,99
	0,75	0,52	0,83	0,97
	1,00	0,51	0,79	0,97
	1,50	0,49	0,78	0,95
	2,00	0,48	0,78	0,94
	3,00	0,46	0,76	0,93
	$\geq 4,00$	0,45	0,76	0,93
$\geq 6,5$	0,25	0,59	0,86	0,98
	0,50	0,48	0,76	0,94
	0,75	0,44	0,74	0,91
	1,00	0,41	0,70	0,91
	1,50	0,40	0,67	0,91
	2,00	0,39	0,67	0,89
	3,00	0,39	0,66	0,88
	$\geq 4,00$	0,38	0,66	0,87

Sumber: TRB, 2000.

Tabel 7-33 Faktor Penyesuaian Kelandaian (f_G) untuk Memperkirakan Persen Waktu-Tempuh-Mengikuti pada Jalan Menanjak Spesifik

Kelandaian (%)	Panjang Kelandaian (mil)	Faktor Penyesuaian Kelandaian, f_G		
		Rentang Tingkat Arus Satu-Arah, v_d (kendaraan penumpang/jam)		
		0–300	> 300–600	> 600
$\geq 3,0 < 3,5$	0,25	1,00	0,92	0,92
	0,50	1,00	0,93	0,93
	0,75	1,00	0,93	0,93
	1,00	1,00	0,93	0,93
	1,50	1,00	0,94	0,94
	2,00	1,00	0,95	0,95
	3,00	1,00	0,97	0,96
	$\geq 4,00$	1,00	1,00	0,97
$\geq 3,5 < 4,5$	0,25	1,00	0,94	0,92
	0,50	1,00	0,97	0,96
	0,75	1,00	0,97	0,96
	1,00	1,00	0,97	0,97
	1,50	1,00	0,97	0,97
	2,00	1,00	0,98	0,98
	3,00	1,00	1,00	1,00
	$\geq 4,00$	1,00	1,00	1,00
$\geq 4,5 < 5,5$	0,25	1,00	1,00	0,97
	0,50	1,00	1,00	1,00
	0,75	1,00	1,00	1,00
	1,00	1,00	1,00	1,00
	1,50	1,00	1,00	1,00
	2,00	1,00	1,00	1,00
	3,00	1,00	1,00	1,00
	$\geq 4,00$	1,00	1,00	1,00
$\geq 5,5 < 6,5$	0,25	1,00	1,00	1,00
	0,50	1,00	1,00	1,00
	0,75	1,00	1,00	1,00
	1,00	1,00	1,00	1,00
	1,50	1,00	1,00	1,00
	2,00	1,00	1,00	1,00
	3,00	1,00	1,00	1,00
	$\geq 4,00$	1,00	1,00	1,00
$\geq 6,5$	0,25	1,00	1,00	1,00
	0,50	1,00	1,00	1,00
	0,75	1,00	1,00	1,00
	1,00	1,00	1,00	1,00
	1,50	1,00	1,00	1,00
	2,00	1,00	1,00	1,00
	3,00	1,00	1,00	1,00
	$\geq 4,00$	1,00	1,00	1,00

Sumber: TRB, 2000.

Tabel 7-34 Padanan Kendaraan-Penumpang untuk Truk untuk Memperkirakan Kecepatan Rata-rata pada Jalan Menanjak Spesifik

Kelandaian (%)	Panjang Kelandaian (mil)	Padanan Kendaraan-Penumpang untuk Truk, E_T		
		Rentang Tingkat Arus Satu-Arah, v_d (kendaraan penumpang/jam)		
		0–300	> 300–600	> 600
$\geq 3,0 < 3,5$	0,25	2,5	1,9	1,5
	0,50	3,5	2,8	2,3
	0,75	4,5	3,9	2,9
	1,00	5,1	4,6	3,5
	1,50	6,1	5,5	4,1
	2,00	7,1	5,9	4,7
	3,00	8,2	6,7	5,3
	$\geq 4,00$	9,1	7,5	5,7
$\geq 3,5 < 4,5$	0,25	3,6	2,4	1,9
	0,50	5,4	4,6	3,4
	0,75	6,4	6,6	4,6
	1,00	7,7	6,9	5,9
	1,50	9,4	8,3	7,1
	2,00	10,2	9,6	8,1
	3,00	11,3	11,0	8,9
	$\geq 4,00$	12,3	11,9	9,7
$\geq 4,5 < 5,5$	0,25	4,2	3,7	2,6
	0,50	6,0	6,0	5,1
	0,75	7,5	7,5	7,5
	1,00	9,2	9,0	8,9
	1,50	10,6	10,5	10,3
	2,00	11,8	11,7	11,3
	3,00	13,7	13,5	12,4
	$\geq 4,00$	15,3	15,0	12,5
$\geq 5,5 < 6,5$	0,25	4,7	4,1	3,5
	0,50	7,2	7,2	7,2
	0,75	9,1	9,1	9,1
	1,00	10,3	10,3	10,2
	1,50	11,9	11,8	11,7
	2,00	12,8	12,7	12,6
	3,00	14,4	14,3	14,2
	$\geq 4,00$	15,4	15,2	15,0
$\geq 6,5$	0,25	5,1	4,8	4,6
	0,50	7,8	7,8	7,8
	0,75	9,8	9,8	9,8
	1,00	10,4	10,4	10,3
	1,50	12,0	11,9	11,8
	2,00	12,9	12,8	12,7
	3,00	14,5	14,4	14,3
	$\geq 4,00$	15,4	15,3	15,2

Sumber: TRB, 2000.

Tabel 7-35 Padanan Kendaraan-Penumpang untuk Truk dan Kendaraan Rekreasional untuk Memperkirakan Persen Waktu-Tempuh-Mengikuti pada Jalan Menanjak Spesifik

Kelandaian (%)	Panjang Kelandaian (mil)	Padanan Kendaraan-Penumpang untuk Truk, E_T			RV_s, E_R
		Rentang Tingkat Arus Satu-Arah, v_d (kendaraan penumpang/jam)			
		0-300	> 300-600	> 600	
$\geq 3,0 < 3,5$	0,25	1,0	1,0	1,0	1,0
	0,50	1,0	1,0	1,0	1,0
	0,75	1,0	1,0	1,0	1,0
	1,00	1,0	1,0	1,0	1,0
	1,50	1,0	1,0	1,0	1,0
	2,00	1,0	1,0	1,0	1,0
	3,00	1,4	1,0	1,0	1,0
	$\geq 4,00$	1,5	1,0	1,0	1,0
$\geq 3,5 < 4,5$	0,25	1,0	1,0	1,0	1,0
	0,50	1,0	1,0	1,0	1,0
	0,75	1,0	1,0	1,0	1,0
	1,00	1,0	1,0	1,0	1,0
	1,50	1,1	1,0	1,0	1,0
	2,00	1,4	1,0	1,0	1,0
	3,00	1,7	1,1	1,2	1,0
	$\geq 4,00$	2,0	1,5	1,4	1,0
$\geq 4,5 < 5,5$	0,25	1,0	1,0	1,0	1,0
	0,50	1,0	1,0	1,0	1,0
	0,75	1,0	1,0	1,0	1,0
	1,00	1,0	1,0	1,0	1,0
	1,50	1,1	1,2	1,2	1,0
	2,00	1,6	1,3	1,5	1,0
	3,00	2,3	1,9	1,7	1,0
	$\geq 4,00$	3,3	2,1	1,8	1,0
$\geq 5,5 < 6,5$	0,25	1,0	1,0	1,0	1,0
	0,50	1,0	1,0	1,0	1,0
	0,75	1,0	1,0	1,0	1,0
	1,00	1,0	1,2	1,2	1,0
	1,50	1,5	1,6	1,6	1,0
	2,00	1,9	1,9	1,8	1,0
	3,00	3,3	2,5	2,0	1,0
	$\geq 4,00$	4,3	3,1	2,0	1,0
$\geq 6,5$	0,25	1,0	1,0	1,0	1,0
	0,50	1,0	1,0	1,0	1,0
	0,75	1,0	1,0	1,3	1,0
	1,00	1,3	1,4	1,6	1,0
	1,50	2,1	2,0	2,0	1,0
	2,00	2,8	2,5	2,1	1,0
	3,00	4,0	3,1	2,2	1,0
	$\geq 4,00$	4,8	3,5	2,3	1,0

Sumber: TRB, 2000.

Tabel 7-36 Padanan Kendaraan-Penumpang untuk Kendaraan Rekreasional untuk Memperkirakan Kecepatan Tempuh Rata-rata pada Jalan Menanjak Spesifik

Kelandaian (%)	Panjang Kelandaian (mil)	Padanan Kendaraan-Penumpang untuk Kendaraan Rekreasional, E_T		
		Rentang Tingkat Arus Satu-Arah, v_d (kendaraan penumpang/jam)		
		0–300	> 300–600	> 600
$\geq 3,0 < 3,5$	0,25	1,1	1,0	1,0
	0,50	1,2	1,0	1,0
	0,75	1,2	1,0	1,0
	1,00	1,3	1,0	1,0
	1,50	1,4	1,0	1,0
	2,00	1,4	1,0	1,0
	3,00	1,5	1,0	1,0
	$\geq 4,00$	1,5	1,0	1,0
$\geq 3,5 < 4,5$	0,25	1,3	1,0	1,0
	0,50	1,3	1,0	1,0
	0,75	1,3	1,0	1,0
	1,00	1,4	1,0	1,0
	1,50	1,4	1,0	1,0
	2,00	1,4	1,0	1,0
	3,00	1,4	1,0	1,0
	$\geq 4,00$	1,5	1,0	1,0
$\geq 4,5 < 5,5$	0,25	1,5	1,0	1,0
	0,50	1,5	1,0	1,0
	0,75	1,5	1,0	1,0
	1,00	1,5	1,0	1,0
	1,50	1,5	1,0	1,0
	2,00	1,5	1,0	1,0
	3,00	1,6	1,0	1,0
	$\geq 4,00$	1,6	1,0	1,0
$\geq 5,5 < 6,5$	0,25	1,5	1,0	1,0
	0,50	1,5	1,0	1,0
	0,75	1,5	1,0	1,0
	1,00	1,6	1,0	1,0
	1,50	1,6	1,0	1,0
	2,00	1,6	1,0	1,0
	3,00	1,6	1,2	1,0
	$\geq 4,00$	1,6	1,5	1,2
$\geq 6,5$	0,25	1,6	1,0	1,0
	0,50	1,6	1,0	1,0
	0,75	1,6	1,0	1,0
	1,00	1,6	1,0	1,0
	1,50	1,6	1,0	1,0
	2,00	1,6	1,0	1,0
	3,00	1,6	1,3	1,3
	$\geq 4,00$	1,6	1,5	1,4

Sumber: TRB, 2000.

dari Tabel 7-27 dan 7-28. Jika jalan menurun spesifik cukup panjang dan curam sehingga kendaraan berat yang melaluinya harus berjalan merambat, f_{HV} yang digunakan untuk menentukan kecepatan tempuh rata-rata harus dilakukan berdasarkan Persamaan (22) dan bukan berdasarkan Persamaan (12).

$$f_{HL} = \frac{1}{1 + P_{TC} \times P_T (E_{TC} - 1) + (1 - P_{TC})P_T(E_T - 1) + P_R(E_R - 1)} \quad (22)$$

di mana

P_{TC} = proporsi seluruh truk di dalam aliran lalu-lintas yang menggunakan kecepatan merambat pada jalan menurun spesifik.

E_{TC} = padanan kendaraan-penumpang untuk truk yang menggunakan kecepatan merambat, diperoleh dari Tabel 7-37.

Dalam menerapkan Persamaan (22), padanan kendaraan-penumpang untuk truk yang menggunakan kecepatan merambat (E_{TC}) harus ditentukan dari Tabel 7-37, berdasarkan tingkat arus satu-arah dan selisih antara FFS dan kecepatan merambat truk tersebut. Padanan kendaraan penumpang untuk truk (E_T) dan kendaraan rekreasional (E_R) lainnya harus merupakan nilai-nilai untuk permukaan rata pada Tabel 7-27. Proporsi seluruh truk yang merupakan kombinasi trailer dan traktor dapat digunakan sebagai P_{TC} apabila terdapat kekurangan data spesifik.

Sebagaimana prosedur ruas jalan dua-arah, Persamaan (20) dan (21) harus diterapkan secara iteratif dalam beberapa situasi untuk menentukan nilai v_d dan v_o yang memadai. Prosedur tersebut dilakukan dengan cara yang berbeda dengan ruas dua-arah, sebagai berikut:

- Untuk ruas-ruas yang diperpanjang pada permukaan rata dan bergelombang dan untuk jalan-jalan menurun spesifik, tingkat arus satu-arah dari Tabel 7-25 sampai 7-28 dapat digunakan ketimbang menggunakan tingkat jalan dua-arah.
- Untuk jalan menanjak spesifik, digunakan Tabel 7-32 sampai 7-36 dan bukan Tabel 7-25 sampai 7-28.
- Untuk jalan menurun spesifik yang dilalui sejumlah truk dengan kecepatan merambat, digunakanlah Persamaan (22) dan bukan Persamaan (12).

Kecepatan tempuh rata-rata ditentukan dari Persamaan (23):

$$ATS_d = FFS_d - 0,00776(v_d + v_o) - f_{np} \quad (23)$$

Tabel 7-37 Padanan Kendaraan-Penumpang untuk Memperkirakan Efek Kecepatan Tempuh Rata-rata Truk yang Beroperasi pada Kecepatan Merambat di Jalan Menurun Panjang yang Tajam

Selisih Antara FFS dan Kecepatan Merambat Truk (mil/jam)	Padanan Kendaraan-Penumpang untuk Truk pada Kecepatan Merambat, E_{TC}		
	Rentang Tingkat Arus Satu-Arah v_d (kendaraan penumpang/jam)		
	0–300	> 300–600	> 600
≤ 15	4,4	2,8	1,4
25	14,3	9,6	5,7
≥ 40	34,1	23,1	13,0

Sumber: TRB, 2000.

di mana

ATS_d = kecepatan tempuh rata-rata dalam arah analisis (mil/jam)

FFS_d = kecepatan arus-bebas dalam arah analisis (mil/jam)

v_d = tingkat arus padanan kendaraan-penumpang untuk periode 15 menit puncak dalam arah analisis (kendaraan-penumpang/jam)

v_o = tingkat arus padanan kendaraan-penumpang untuk periode 15 menit puncak dari arah yang berlawanan (kendaraan penumpang/jam)

f_{np} = penyesuaian untuk persentase zona dilarang mendahului dalam arah analisis (Tabel 7-38)

Persentase waktu-tempuh-mengikuti yang ditentukan menggunakan Persamaan (24):

$$PTSF_d = BPTSF_d + f_{np} \quad (24)$$

di mana

$PTSF_d$ = persentase waktu-tempuh-mengikuti dalam arah yang dianalisis

$BPTSF_d$ = persentase dasar untuk waktu-tempuh-mengikuti dalam arah yang dianalisis

f_{np} = Penyesuaian untuk persentase dari zona-zona dilarang mendahului dalam arah analisis (Tabel 7-39).

Persentase waktu-tempuh-mengikuti untuk kondisi-kondisi dasar pada volume lalu-lintas aktual di dalam arah yang dianalisis pada Persamaan (24) ditentukan, secara estimasi, dengan menggunakan Persamaan (25).

$$BPTSF_d = 100 (1 - e^{av_d^b}) \quad (25)$$

Nilai koefisien a dan b pada Persamaan (25) ditentukan dari tingkat arus dari arah yang berlawanan, sebagaimana yang diperlihatkan pada Tabel 7-40.

5.4.4 Menentukan LOS Jika v_d lebih besar daripada 1.700 kendaraan penumpang/jam (kapasitas), jalan melebihi kapasitas sehingga terjadilah kondisi LOS F. Untuk suatu ruas jalan Kelas I dengan permintaan kurang dari kapasitasnya, LOS ditentukan dengan cara mencari titik yang menunjukkan nilai perkiraan untuk persentase waktu-tempuh-mengikuti dan kecepatan tempuh rata-rata pada Gambar 7-7. Untuk ruas jalan Kelas II dengan permintaan kurang dari kapasitasnya, LOS ditentukan dengan cara membandingkan persentase waktu-tempuh-mengikuti satu-arahnya dengan kriteria pada Tabel 7-21. Meskipun tidak diikutsertakan dalam penentuan LOS, perkiraan waktu tempuh rata-rata harus dilaporkan. Kecepatan tempuh rata-rata berguna dalam mengevaluasi mutu pelayanan dari fasilitas jalan raya dua-lajur, jaringan jalan raya, atau sistem-sistem di mana ruas jalan menjadi bagiannya. Ukuran lalu-lintas lainnya, meliputi perbandingan v/c , perjalanan total, dan waktu tempuh total, dapat ditentukan dari Persamaan (16) sampai (19), tetapi dengan menggunakan volume, tingkat arus, dan kecepatan satu-arah, bukan menggunakan padanan jalan dua-arahnya.

5.4.5 Perencanaan Sistem Jalan raya Dua-lajur Ketika perencanaan umum dan studi kebijakan harus dilakukan untuk sistem jalan raya dua-lajur di daerah luar kota, maka prosedur yang akan diuraikan pada bagian ini dapat digunakan. Analisis perencanaan menggunakan hasil-hasil perkiraan, nilai default HCM (TRB, 2000), dan nilai default lokal sebagai input. Sebagai output, LOS atau tingkat arus dapat ditentukan bersamaan dengan output sekunder yaitu kecepatan tempuh rata-rata dan persentase waktu-tempuh-mengikuti. Kedua aplikasi perencanaan, yaitu perencanaan LOS dan v_p , berkorespons langsung dengan prosedur-prosedur

Tabel 7-38 Penyesuaian (f_{np}) terhadap Kecepatan Tempuh Rata-rata untuk Persentase Zona Dilarang Mendahului pada Ruas Jalan Satu-Arah

Permintaan Tingkat Arus dari Arah Berlawanan, v_o (kendaraan penumpang/jam)	Zona Dilarang Mendahului (%)				
	≤ 20	40	60	80	100
Kecepatan Arus-Bebas = 65 mil/jam					
≤ 100	1,1	2,2	2,8	3,0	3,1
200	2,2	3,3	3,9	4,0	4,2
400	1,6	2,3	2,7	2,8	2,9
600	1,4	1,5	1,7	1,9	2,0
800	0,7	1,0	1,2	1,4	1,5
1000	0,6	0,8	1,1	1,1	1,2
1200	0,6	0,8	0,9	1,0	1,1
1400	0,6	0,7	0,9	0,9	0,9
≥ 1600	0,6	0,7	0,7	0,9	0,8
Kecepatan Arus-Bebas = 60 mil/jam					
≤ 100	0,7	1,7	2,5	2,8	2,9
200	1,9	2,9	3,7	4,0	4,2
400	1,4	2,0	2,5	2,7	2,9
600	1,1	1,3	1,6	1,9	2,0
800	0,6	0,9	1,1	1,3	1,4
1000	0,6	0,7	0,9	1,1	1,2
1200	0,5	0,7	0,9	0,9	1,1
1400	0,5	0,6	0,8	0,8	0,9
≥ 1600	0,5	0,6	0,7	0,7	0,7
Kecepatan Arus-Bebas = 55 mil/jam					
≤ 100	0,5	1,2	2,2	2,6	2,7
200	1,5	2,4	3,5	3,9	4,1
400	1,3	1,9	2,4	2,7	2,8
600	0,9	1,1	1,6	1,8	1,9
800	0,5	0,7	1,1	1,2	1,4
1000	0,5	0,6	0,8	0,9	1,1
1200	0,5	0,6	0,7	0,9	1,0
1400	0,5	0,6	0,7	0,7	0,9
≥ 1600	0,5	0,5	0,6	0,6	0,7
Kecepatan Arus-Bebas = 50 mil/jam					
≤ 100	0,2	0,7	1,9	2,4	2,5
200	1,2	2,0	3,3	3,9	4,0
400	1,1	1,6	2,2	2,6	2,7
600	0,6	1,9	1,4	1,7	1,9
800	0,4	0,6	0,9	1,2	1,3
1000	0,4	0,4	0,7	0,9	1,1
1200	0,4	0,4	0,7	0,8	1,0
1400	0,4	0,4	0,6	0,7	0,8
≥ 1600	0,4	0,4	0,5	0,5	0,6
Kecepatan Arus-Bebas = 45 mil/jam					
≤ 100	0,1	0,4	1,7	2,2	2,4
200	0,9	1,6	3,1	3,8	4,0
400	0,9	0,5	2,0	2,5	2,7
600	0,4	0,3	1,3	1,7	1,8
800	0,3	0,3	0,8	1,1	1,2
1000	0,3	0,3	0,6	0,8	1,1
1200	0,3	0,3	0,6	0,7	1,0
1400	0,3	0,3	0,6	0,6	0,7
≥ 1600	0,3	0,3	0,4	0,4	0,6

Sumber: TRB, 2000.

Tabel 7-39 Penyesuaian (f_{np}) untuk Persen Waktu-Tempuh-Mengikuti untuk Persentase Zona Dilarang Mendahului pada Ruas Jalan Satu-Arah

Permintaan Tingkat Arus dari Arah Berlawanan, v_o (kendaraan penumpang/jam)	Zona Dilarang Mendahului (%)				
	≤ 20	40	60	80	100
Kecepatan Arus-Bebas = 65 mil/jam					
≤ 100	10,1	17,2	20,2	21,0	21,8
200	12,4	19,0	22,7	23,8	24,8
400	9,0	12,3	14,1	14,4	15,4
600	5,3	7,7	9,2	9,7	10,4
800	3,0	4,6	5,7	6,2	6,7
1000	1,8	2,9	3,7	4,1	4,4
1200	1,3	2,0	2,6	2,9	3,1
1400	0,9	1,4	1,7	1,9	2,1
≥ 1600	0,7	0,9	1,1	1,2	1,4
Kecepatan Arus-Bebas = 60 mil/jam					
≤ 100	8,4	14,9	20,9	22,8	26,6
200	11,5	18,2	24,1	26,2	29,7
400	8,6	12,1	14,8	15,9	18,1
600	5,1	7,5	9,6	10,6	12,1
800	2,8	4,5	5,9	6,7	7,7
1000	1,6	2,8	3,7	4,3	4,9
1200	1,2	1,9	2,6	3,0	3,4
1400	0,8	1,3	1,7	2,0	2,3
≥ 1600	0,6	0,9	1,1	1,2	1,5
Kecepatan Arus-Bebas = 55 mil/jam					
≤ 100	6,7	12,7	21,7	24,5	31,3
200	10,5	17,5	25,4	28,6	34,7
400	8,3	11,8	15,5	17,5	20,7
600	4,9	7,3	10,0	11,5	13,9
800	2,7	4,3	6,1	7,2	8,8
1000	1,5	2,7	3,8	4,5	5,4
1200	1,0	1,8	2,6	3,1	3,8
1400	0,7	1,2	1,7	2,0	2,4
≥ 1600	0,6	0,9	1,2	1,3	1,5
Kecepatan Arus-Bebas = 50 mil/jam					
≤ 100	5,0	10,4	22,4	26,3	26,1
200	9,6	16,7	26,8	31,0	39,6
400	7,9	11,6	16,2	19,0	23,4
600	4,7	7,1	10,4	12,4	15,6
800	2,5	4,2	6,3	7,7	9,8
1000	1,3	2,6	3,8	4,7	5,9
1200	0,9	1,7	2,6	3,2	4,1
1400	0,6	1,1	1,7	2,1	2,6
≥ 1600	0,5	0,9	1,2	1,3	1,6
Kecepatan Arus-Bebas = 45 mil/jam					
≤ 100	3,7	8,5	23,2	28,2	41,6
200	8,7	16,0	28,2	33,6	45,2
400	7,5	11,4	16,9	20,7	26,4
600	4,5	6,9	10,8	13,4	17,6
800	2,3	4,1	6,5	8,2	11,0
1000	1,2	2,5	3,8	4,9	6,4
1200	0,8	1,6	2,6	3,3	4,5
1400	0,5	1,0	1,7	2,2	2,8
≥ 1600	0,4	0,9	1,2	1,3	1,7

Sumber: TRB, 2000.

Tabel 7-40 Nilai Koefisien yang Digunakan dalam Memperkirakan Persen Waktu-Tempuh-Mengikuti pada Ruas Jalan Satu Arah

Permintaan Tingkat Arus dari Arah Berlawanan, v_o (kendaraan penumpang/jam)	a	b
≤ 200	-0,013	0,668
400	-0,057	0,479
600	-0,100	0,413
800	-0,173	0,349
1000	-0,320	0,276
1200	-0,430	0,242
1400	-0,522	0,225
≥ 1600	-0,665	0,199

Sumber: TRB, 2000.

untuk analisis operasional dan analisis desain. Karakteristik lain dari suatu aplikasi perencanaan adalah digunakannya lalu-lintas harian rata-rata tahunan (*annual average daily traffic*, AADT) untuk memperkirakan volume jam-desain satu-arah (*directional design-hour volume*, DDHV). Tabel 7-41 memperlihatkan contoh-contoh mengenai nilai volume pelayanan untuk jalan raya Kelas I. Nilai dalam Tabel ini disusun dengan menggunakan asumsi suatu campuran lalu-lintas yang tipikal yaitu truk dan bis sebesar 14%, dan kendaraan rekreasional sebesar 4%. Pembagian satu-arah sebesar 60/40 digunakan, bersama-sama dengan persentase nilai zona dilarang mendahului sebesar 20% untuk permukaan mendatar, 40% untuk permukaan bergelombang dan 60% untuk permukaan di pegunungan.

5.5 Desain dan Pelaksanaan Operasional

Hampir di seluruh bagiannya, jalan raya dua-lajur menampung volume yang relatif sedikit dan hanya mengalami sedikit problematika operasional. Namun, jalan raya dua-lajur dapat mengalami sejumlah masalah operasional dan keselamatan akibat berbagai faktor lalu-lintas, geometris, dan lingkungan. Satu atau lebih di antara teknik pemecahan masalah berikut dapat digunakan untuk mengurangi masalah pada jalan raya dua-lajur:

1. Mengatur ulang alinyemen untuk meningkatkan jarak penglihatan untuk mendahului
2. Menggunakan bahu jalan yang diperkeras
3. Menggunakan lajur-lajur mendahului dengan interval-interval pada setiap arah jalan
4. Jalan tiga-lajur dengan dua-lajur yang khusus dirancang untuk perjalanan dalam satu arah
5. Bagian jalan tiga-lajur dengan lajur-lajur belok median dua-arah yang kontinu
6. Jalan tiga-lajur dengan lajur tengah yang arahnya dapat dibolak-balik
7. Memberlakukan persimpangan secara khusus
8. Lajur tanjakan khusus untuk truk atau kendaraan berat
9. Jalan keluar khusus/darurat
10. Ruas empat-lajur yang pendek

5.6 Contoh-contoh Perhitungan

Contoh 7

Sebuah ruas dari jalan raya dua-lajur di daerah luar kota, Kelas I, memiliki karakteristik sebagai berikut: FFS dasar 65 mil/jam; bahu perkerasan 4 kaki; permukaan bergelombang; zona dilarang mendahului 20%; panjang 6 mil; volume lalu-lintas (dua-arah) pada jam-

Tabel 7-41 Contoh Volume Pelayanan untuk Jalan raya Dua-Lajur Kelas I di Luar Kota

FFS (mil/jam)	Permukaan	Volume Pelayanan (kendaraan/jam)				
		A	B	C	D	E
65	Rata	260	480	870	1460	2770
	Bergelombang	130	290	710	1390	2590
	Pegunungan	N/A	160	340	610	1300
60	Rata	260	480	870	1460	2770
	Bergelombang	130	290	710	1390	2590
	Pegunungan	N/A	160	340	610	1300
55	Rata	N/A	330	870	1460	2770
	Bergelombang	N/A	170	710	1390	2590
	Pegunungan	N/A	110	340	610	1300
50	Rata	N/A	N/A	330	1000	2770
	Bergelombang	N/A	N/A	170	790	2590
	Pegunungan	N/A	N/A	110	420	1300
45	Rata	N/A	N/A	N/A	330	2770
	Bergelombang	N/A	N/A	N/A	170	2590
	Pegunungan	N/A	N/A	N/A	110	1300

Catatan: Asumsi: pembagian arah jalur 60/40; zona dilarang mendahului 20% untuk permukaan rata, 40% untuk medan bergelombang, dan 60% untuk medan pegunungan; truk 14%; dan Kendaraan rekreasi 4%.

N/A = tidak tercapai untuk kondisi tertentu.

Sumber: TRB, 2000.

puncak 528 kendaraan/jam; pembagian arah 70/30; truk 10%, kendaraan rekreasi 5%, bis 1%, PHF 0,95; 10 titik akses/mil. Berapakah tingkat pelayanan dua-arah pada jam-puncak?

Jawaban

Kecepatan tempuh rata-rata dua-arah dan persentase waktu-tempuh-mengikuti ditentukan, di mana sesudahnya LOS dapat ditentukan. Karena $V/PHF = 528/0,95 = 556$, kita memilih padanan truk dan faktor penyesuaian kelandaian untuk tingkat arus kurang dari 600 kendaraan penumpang/jam.

Tahap-tahap Perhitungan

1. Tentukan faktor penyesuaian kelandaian untuk kecepatan tempuh rata-rata (menggunakan Tabel 7-25) $f_G = 0,71$.
2. Menggunakan Tabel 7-27 dan Persamaan (12), hitung f_{HV} untuk kecepatan tempuh rata-rata:

$$f_{HV} = \frac{1}{1 + P_T (E_T - 1) + P_R (E_R - 1)}$$

$$f_{HV} = \frac{1}{1 + 0,11 (2,5 - 1) + 0,05 (1,1 - 1)} = 0,855$$

$$v_p = \frac{V}{PHF \times f_G \times f_{HV}} = \frac{528}{0,95 \times 0,71 \times 0,855} = 916 \text{ kendaraan penumpang/jam}$$

3. Hitung nilai v_p [menggunakan Persamaan (11)].
Untuk $v_p > 600$, hitung ulang v_p menggunakan penyesuaian kelandaian dan padanan

kendaraan-penumpang untuk rentang $v_p > 600-1200$

$$f_G = 0,93$$

$$f_{HV} = \frac{1}{1 + 0,11(1,9 - 1) + 0,05(1,1 - 1)} = 0,906$$

$$v_p = \frac{528}{0,95 \times 0,93 \times 0,906} = 660 \text{ kendaraan penumpang/jam}$$

4. Hitung tingkat arus satu-arah tertinggi: $v_p \times 0,70 = 660 \times 0,70 = 462$ kendaraan penumpang/jam.
5. Periksa tingkat arus satu-arah dan tingkat arus dua-arah tertinggi terhadap nilai kapasitas berikut:

462 kendaraan penumpang/jam < 1.700 kendaraan penumpang/jam (Jika $v_p \geq 1.700$ kendaraan penumpang/jam, maka analisis dihentikan – LOS atau tingkat pelayanan adalah F).

660 kendaraan penumpang/jam < 3.200 kendaraan penumpang/jam (Jika $v_p \geq 3.200$ kendaraan penumpang/jam, maka analisis dihentikan – LOS adalah F)

6. Hitung FFS [gunakan Tabel 7-22 dan 7-23, dan Persamaan (10)]:

$$\text{FFS} = \text{BFFS} - f_{LS} - f_A = 65 - 1,7 - 2,5 = 60,8 \text{ mil/jam}$$

7. Hitung kecepatan tempuh rata-rata [gunakan Tabel 7-29 dan Persamaan (13)]

$$\text{ATS} = \text{FFS} - 0,00776v_p - f_{np} = 60,8 - 0,00776(660) - 1,5 = 54,2 \text{ mil/jam}$$

8. Tentukan faktor penyesuaian kelandaian untuk persentase waktu-tempuh-mengikuti (gunakan Tabel 7-26):

$$f_G = 0,94$$

9. Hitung f_{HV} untuk waktu-tempuh-mengikuti [gunakan Tabel 7-28 dan Persamaan (12)]:

$$f_{HV} = \frac{1}{1 + 0,11(1,5 - 1) + 0,05(1,0 - 1)} = 0,948$$

10. Hitung v_p [gunakan Persamaan (11)]:

$$v_p = \frac{528}{0,95 \times 0,94 \times 0,948} = 624 \text{ kendaraan penumpang/jam}$$

11. Hitung tingkat arus satu-arah tertinggi: $v_p \times 0,70 = 624 \times 0,70 = 437$ kendaraan penumpang/jam
12. Periksa tingkat arus satu-arah dan tingkat arus dua-arah tertinggi terhadap nilai kapasitas: 437 kendaraan penumpang/jam < 1.700 kendaraan penumpang/jam, dan 624 kendaraan penumpang/jam < 3.200 kendaraan penumpang/jam.
13. Hitung persentase untuk waktu-tempuh-mengikuti dasar [gunakan Persamaan (15)]:

$$\text{BPTSF} = 100 (1 - e^{-0,000879v_p}) = 100 (1 - e^{-0,000879(624)}) = 42,22\%$$

14. Hitung persentase waktu-tempuh-mengikuti [gunakan Tabel 7-30 dan Persamaan (14)]:

$$\text{PTSF} = \text{BPTSF} + f_{dnp} = 42,22 + 11,13 = 53,33\%$$

15. Tentukan LOS (gunakan Gambar 7-7): $\text{ATS} = 54,2$ mil/jam dan $\text{PTSF} = 53,33\%$, LOS C. Jalan raya dua-lajur ini beroperasi pada LOS C.

Ukuran-ukuran Performa lainnya:

$$v/c = \frac{v_p}{c} = \frac{660}{3200} = 0,206$$

$$VMT_{15} = 0,25 \left(\frac{V}{PHF} \right) L_t = 0,25 \left(\frac{528}{0,95} \right) (6) = 834 \text{ kendaraan-mil}$$

$$VMT_{60} = V \times L_t = (528) (6) = 3168 \text{ kendaraan-mil}$$

$$TT_{15} = \frac{VMT_{15}}{ATS} = \frac{834}{54,2} = 15,39 \text{ kendaraan-jam}$$

Contoh 8

Suatu ruas sepanjang 12 mil dari jalan raya dua-lajur Kelas II terletak di daerah rekreasi. Ruas ini mempunyai karakteristik: volume jam-puncak 470 kendaraan/jam (dua-arrah); FFS dasar 45 mil/jam; lebar lajur 10 kaki; bahu jalan 4 kaki; permukaan jalan datar; zona dilarang mendahului 80%; panjang 12 mil; pembagian arah 60/40; 15% truk, 10%, kendaraan rekreasi, bis tidak ada, 75% kendaraan penumpang; PHF 0,85; 20 titik akses/mil. Pada LOS berapakah jalan raya ini beroperasi selama jam-puncak?

Jawaban

Kecepatan tempuh rata-rata dua-arrah dan persentase waktu-tempuh-mengikuti ditentukan, dan dengan parameter-parameter ini, LOS dapat ditentukan. Karena $V/PHF = 470/0,85 = 553$, maka kita memilih padanan truk dan faktor penyesuaian kelandaian untuk tingkat-tingkat arus yang lebih kecil daripada 600 kendaraan penumpang/jam.

Tahap-tahap perhitungan

1. Tentukan faktor penyesuaian kelandaian untuk kecepatan tempuh rata-rata (menggunakan Tabel 7-25): $f_G = 1$.
2. Hitung f_{HV} untuk kecepatan tempuh rata-rata [gunakan Tabel 7-27 dan Persamaan (12)]:

$$f_{HV} = \frac{1}{1 + P_T (E_T - 1) + P_R (E_R - 1)}$$

$$f_{HV} = \frac{1}{1 + 0,15 (1,2 - 1) + 0,10 (1 - 1)} = 0,971$$

3. Hitung nilai v_p [menggunakan Persamaan (11)]:

$$v_p = \frac{V}{PHF \times f_G \times f_{HV}} = \frac{470}{0,85 \times 1,0 \times 0,971} = 569 \text{ kendaraan penumpang/jam}$$

4. Hitung tingkat arus satu-arrah tertinggi: $v_p \times 0,60 = 569 \times 0,60 = 341$ kendaraan penumpang/jam.
5. Periksa tingkat arus satu-arrah dan tingkat arus dua-arrah tertinggi terhadap nilai kapasitas berikut:

341 kendaraan penumpang/jam < 1.700 kendaraan penumpang/jam (Jika $v_p \geq 1.700$ kendaraan penumpang/jam, maka analisis dihentikan—LOS atau tingkat pelayanan adalah F).
569 kendaraan penumpang/jam < 3.200 kendaraan penumpang/jam (Jika $v_p \geq 3.200$ kendaraan penumpang/jam, maka analisis dihentikan—LOS atau tingkat pelayanan adalah F)

6. Hitung FFS [gunakan Tabel 7-22 dan 7-23, dan Persamaan (10)]:

$$FFS = BFFS - f_{LS} - f_A = 45 - 2,4 - 5 = 37,6 \text{ mil/jam.}$$

7. Hitung kecepatan tempuh rata-rata [gunakan Tabel 7-29 dan Persamaan (13)]:

$$ATS = FFS - 0,00776 v_p - f_{np} = 37,6 - 0,00776 (569) - 3,5 = 29,7 \text{ mil/jam.}$$

8. Tentukan faktor penyesuaian kelandaian untuk persentase waktu-tempuh-mengikuti (gunakan Tabel 7-26): $f_G = 1$
9. Hitung f_{HV} untuk waktu-tempuh-mengikuti [gunakan Tabel 7-28 dan (Persamaan (12))]:

$$f_{HV} = \frac{1}{1 + 0,15 (1,1 - 1) + 0,10 (1,0 - 1)} = 0,985$$

10. Hitung v_p [gunakan Persamaan (11)]

$$v_p = \frac{470}{0,85 \times 1,0 \times 0,985} = 561 \text{ kendaraan penumpang/jam}$$

11. Hitung tingkat arus satu-arah tertinggi: $v_p \times 0,60 = 561 \times 0,60 = 337 \text{ kendaraan/jam.}$
12. Periksa tingkat arus satu-arah dan tingkat arus dua-arah tertinggi terhadap nilai kapasitas:
 $337 \text{ kendaraan penumpang/jam} < 1.700 \text{ kendaraan penumpang/jam, dan}$
 $561 \text{ kendaraan penumpang/jam} < 3.200 \text{ kendaraan penumpang/jam}$
13. Hitung persentase untuk waktu-tempuh-mengikuti dasar [gunakan Persamaan (15)]:
- $$BPTSF = 100 (1 - e^{-0,000879 v_p}) = 100 (1 - e^{-0,000879 (561)}) = 38,93\%$$
14. Hitung persentase waktu-tempuh-mengikuti [gunakan Tabel 7-30 dan (Persamaan 14)]:
- $$PTSF = BPTSF + f_{d/np} = 38,93 + 20,06 = 58,99\%$$
15. Tentukan LOS (gunakan Tabel 7-21): $PTSF = 58,99\%$, LOS "C". Jalan raya dua-lajur ini beroperasi pada LOS C

Ukuran-ukuran Performa lainnya:

$$v/c = \frac{v_p}{c} = \frac{569}{3200} = 0,178$$

$$VMT_{15} = 0,25 \left(\frac{V}{PHF} \right) L_t = 0,25 \left(\frac{470}{0,85} \right) (12) = 1659 \text{ kendaraan-mil}$$

$$VMT_{60} = V \times L_t = (470) (12) = 5640 \text{ kendaraan-mil}$$

$$TT_{15} = \frac{VMT_{15}}{ATS} = \frac{1659}{29,7} = 55,86 \text{ kendaraan-mil}$$

RANGKUMAN

Konsep-konsep tentang kapasitas dan tingkat pelayanan fasilitas jalan raya telah digunakan oleh insinyur dan ahli perencana sejak tahun 1950. Dalam Bab ini, kita membahas definisi, prosedur untuk analisis, desain, dan perencanaan operasional dari tiga jenis utama fasilitas jalan raya, yaitu (1) jalan tol, (2) jalan raya multi-lajur, dan (3) jalan raya dua-lajur. Rincian dasar pentingnya telah pula dibahas. Meskipun demikian, untuk rincian yang lebih mendalam, disarankan untuk melihat *Highway Capacity Manual* (TRB, 2000).

DAFTAR PUSTAKA

- ROBERTSON, H. D., J. E. HUMMER, and D. C. NELSON (eds.) (1994). *Manual of Transportation Engineering Studies*, Institute of Transportation Engineers, Prentice Hall, Englewood Cliffs, NJ.
- TRANSPORTATION RESEARCH BOARD (TRB) (2000). *Highway Capacity Manual*, National Research Council, Washington, DC.

SOAL-SOAL LATIHAN

1. Sebuah jalan tol delapan-lajur di daerah pinggir kota memiliki arus 3000 kendaraan/jam. Dari keseluruhan arus ini, arus truk adalah 180 kendaraan/jam (6%), arus kendaraan rekreasional adalah 450 kendaraan/jam (15%), dan arus bis penumpang adalah 360 kendaraan/jam (12%). Lalu-lintas selebihnya terdiri dari kendaraan penumpang.
 - (a) Tentukan faktor penyesuaian kendaraan-berat pada suatu bagian sepanjang 2 mil dari jalan tol dengan kelandaian +3% dan penghalang 5 ft dari kedua sisi jalan tol tersebut.
 - (b) Jika lebar tiap lajur 12 ft dan kepadatan interchange rata-rata di sebelah bagian tersebut adalah 1 interchange/mil, tentukan LOS yang ada dan arus pelayanan maksimum pada kapasitas (LOS E).
2. Diketahui sebuah jalan tol memiliki data sebagai berikut: jalan tol perkotaan 8-lajur (PHF = 0,95); lajur 12 ft, dan bahu jalan terletak sepenuhnya di luar lajur jalan; bagian diperpanjangnya terletak pada permukaan bergelombang dengan kepadatan interchange lokal sebesar 1,5 interchange/mil; truk 6%. Tentukan MSF untuk LOS B dan D.
3. Sebuah jalan tol lingkaran luar kota akan dirancang berdasarkan informasi berikut: lalu-lintas harian tahunan rata-rata tahun desain, AADT = 82.000 kendaraan/hari, dengan bagian AADT (K) pada jam-puncak diperkirakan 10% dan proporsi satu-arah puncak (D) adalah 0,55; bis 10%, kendaraan rekreasional 5%, truk 10%; faktor jam-puncak dari lalu-lintas adalah 0,9; permukaan jalan rata-rata—bagian jalan diperpanjang, tidak ada penghalang lateral; desain standar—LOS D. Tentukan jumlah lajur yang dibutuhkan jika perkiraan FFS = 65 mil/jam
4. Suatu ruas 1 mil dari jalan tol luar kota mempunyai kelandaian +3% yang mengikuti ruas permukaan jalan rata-rata sepanjang 5 mil. DDHV adalah 2.500 kendaraan/jam (hari kerja), termasuk truk 20%, dengan PHF 0,9. Lebar lajur 12 ft tanpa penghalang lateral di kedua sisi jalan tol, dan ruas jalan tol yang bersebelahan memiliki rata-rata 0,5 interchange/mil. Tentukan jumlah lajur yang dibutuhkan pada ruas kelandaian ini, termasuk lajur tanjakan untuk truk, untuk LOS B.
5. Persamaan $c = 2.300 NW B_c T_c$ dapat digunakan untuk memperkirakan secara kasar kapasitas jalan raya, di mana c adalah kapasitas pada tiap arah (kendaraan/jam), N adalah jumlah lajur pada tiap arah, W adalah faktor penyesuaian desain, B_c adalah faktor penyesuaian lalu-lintas bis, dan T_c adalah faktor penyesuaian lalu-lintas truk. Sebuah jalan raya awalnya mempunyai empat lajur dan dirancang dengan faktor penyesuaian berikut: $W = 1$, $T_c = 1$, dan $B_c = 1$. Hitung perubahan kapasitas jalan raya jika satu lajur digunakan hanya untuk bis (artinya $B_c = 0,25$ untuk lajur khusus bis).
6. Kerjakan kembali Contoh 7 dengan kecepatan arus-bebas dasar diubah menjadi 50 mil/jam dan lebar lajur ditambah menjadi 12 ft.
7. Sebuah jalan raya dua-lajur di luar kota pada permukaan mendatar saat ini menghubungkan dua komunitas yang mempunyai pertumbuhan sangat cepat. DDHV masa yang akan datang diperkirakan sebesar 2.300 kendaraan/jam dengan truk 8%, PHF = 0,9. Desainlah jalan raya multilajur dengan LOS C untuk menggantikan jalan raya dua-lajur, dengan fitur-fitur berikut ini: lebar lajur 10 ft, jarak pada kedua sisi 3 ft, median ditinggikan, dan 12 titik akses/mil pada tiap sisi. Asumsikan kecepatan arus-bebas dasar adalah 60 mil/jam.

8. Suatu jalan raya multilajur hendak dirancang untuk menghubungkan Silicon Forest yang sedang berkembang dengan suatu komunitas yang berjarak beberapa mil. Jalan raya ini diharapkan mampu menampung DDHV 1.800 kendaraan/jam dengan truk 10% dan PHF 0,9. Buatlah beberapa asumsi berikut: lebar lajur 11 feet, bahu jalan memadai, jalan raya tak terbagi, 20 titik akses/mil pada tiap sisi jalan, batas kecepatan 50 mil/jam, dan permukaan jalan bergelombang. Rancanglah jalan raya tersebut untuk LOS C.
9. Jalan raya dua-lajur di daerah luar kota dengan FFS dasar sebesar 50 mil/jam diperkirakan mengalami tingkat pertumbuhan lalu-lintas sekitar 4%. ADT saat ini adalah 3.000 kendaraan/jam. Jalan raya terletak di permukaan bergelombang dengan faktor K diperkirakan 0,15. Tentukan (a) nilai ADT 12 tahun yang akan datang. (b) berapakah tingkat pelayanan (LOS) 12 tahun yang akan datang.
10. Jalan raya dua-lajur sedang direncanakan di daerah pegunungan dengan perkiraan FFS dasar sebesar 55 mil/jam. Pengelola jalan raya menyarankan LOS C atau yang lebih baik lagi. Berapakah arus pelayanan yang dapat ditampung di jalan raya ini?
11. Suatu ruas jalan raya dua-lajur (Kelas I) pada permukaan bergelombang diusulkan untuk dibangun dengan alinyemen baru untuk panjang sekitar 4 mil untuk menampung DHV sebesar 600 kendaraan. Di jalan ini terdapat 4 jalur per mil yang menyediakan akses pada tiap arah. Tentukan tingkat pelayanan di mana ruas jalan raya akan beroperasi, jika diketahui informasi berikut ini:

Lebar lajur = 11 feet
 Lebar bahu jalan = 6 feet
 Zona dilarang mendahului = 20%
 Pembagian satu arah = 60/40
 Truk = 5%
 Kendaraan rekreasional = 5%
 Kendaraan penumpang = 90%
 PHF = 0,9
 FFS dasar = 60 mil/jam.

Gunakan tingkat analisis operasional.

12. Jika jalan raya dua-lajur yang diuraikan pada Soal Latihan 11 dirancang dengan kelandaian 4%, tentukan volume per-jam maksimum yang dapat beroperasi pada kecepatan rata-rata minimal 45 mil/jam.
13. Sebuah jalan raya empat-lajur di daerah kota memiliki ciri-ciri sebagai berikut:
 - Kecepatan arus-bebas hasil pengukuran lapangan 60 mil/jam
 - Permukaan bergelombang
 - Lebar lajur 11 feet
 - Penghalang median terletak di tepi lajur jalan
 - Penghalang jalan raya terletak 4 feet dari tepi lajur jalan
 - Truk 10%, kendaraan rekreasional 3%, bis 2%
 - Faktor jam-puncak 0,95
 - Pengemudi umumnya mengenali lingkungan jalan dengan baik

Tentukan tingkat arus pelayanan dan volume pelayanan untuk tiap LOS. Berapakah LOS jalan ini apabila permintaan terhadap jalan tol ini adalah 1.800 kendaraan/jam selama jam-puncak? 2.200 kendaraan/jam? 2.800 kendaraan/jam? Untuk periode waktu berapakah semua LOS ini berlaku?
14. Sejumlah kelandaian mulai ada di salah satu ruas jalan tol yang memasuki daerah pegunungan. Bagian jalan tol yang memasuki kelandaian ini pada dasarnya rata. Kelandaian tersebut terdiri dari ruas-ruas jalan berikut:
 - Jalan menanjak 4%, panjang 1 mil
 - Jalan menanjak 3%, panjang $\frac{1}{2}$ mil
 - Jalan menanjak 5%, panjang 1 mil

Jalan menanjak 2%, panjang $\frac{1}{2}$ mil

Jalan menanjak 4%, panjang 1 mil

Hitung kelandaian rata-rata untuk bagian jalan ini. Apakah teknik kelandaian-rata-rata dapat diterapkan dalam kasus ini? Berapakah padanan kelandaian gabungan untuk deretan kelandaian ini? Sampai ke titik berapakah di sepanjang kelandaian ini padanan kelandaian gabungan ini dihitung? Berdasarkan padanan gabungan kelandaian ini, dan truk 15% dan kendaraan rekreasi 5% pada aliran lalu-lintasnya, hitunglah faktor penyesuaian kendaraan-berat yang harus diberlakukan untuk analisis kapasitas dari bagian jalan ini.

15. Jalan raya multilajur mempunyai karakteristik sebagai berikut:

Jalan raya empat-lajur tak-terbagi di daerah luar kota

Lajur 12 feet, lebar bahu jalan yang dapat digunakan adalah 4 feet

Setiap kelandaian 3% dengan panjang 1,25 mil

Truk 12%, bis 2%, dan kendaraan rekreasional 10%

Kecepatan arus-bebas dasar 55 mil/jam

Faktor jam-puncak 0,85

Tentukan arus pelayanan maksimum, V (kendaraan/jam), untuk tingkat pelayanan (LOS) C dan E. Jika AADT 30.000, berapakah jumlah lajur yang harus disediakan untuk operasi pada tingkat pelayanan D ?

16. Jalan raya empat-lajur memiliki karakteristik berikut ini:

Kecepatan arus-bebas diukur sebesar 52 mil/jam

Terletak di daerah pinggiran kota

Mampu menampung 2000 kendaraan per-jam pada arah puncaknya

Lajur 11 feet tanpa clearance lateral

Terletak di medan yang bergelombang

Truk 10%, bis 5%

Faktor jam-puncak 0,9

Pada tingkat pelayanan berapakah saat ini jalan raya tersebut beroperasi? Jika pembangunan di daerah ini mengakibatkan naiknya pertumbuhan lalu-lintas sebesar 10% per tahun, kapankah fasilitas jalan ini mencapai kapasitas? Pada saat fasilitas mencapai kapasitas, perbaikan apakah yang akan Anda sarankan agar dapat meningkatkan operasi hingga ke tingkat pelayanan D ?

17. Tentukan tingkat pelayanan yang tersedia pada suatu tanjakan 3% sepanjang 1 mil untuk sebuah jalan dua-lajur dua-arah (Kelas II) yang menampung volume permintaan sebesar 200 kendaraan/jam. Jalan ini mempunyai lajur 11 feet dan penghalang 4 feet dari tepi jalan di kedua sisinya. Terdapat 8 titik akses pada jalan menurunnya tetapi tidak ada titik akses pada jalan menanjak. Jalan ini mempunyai jarak penglihatan mendahului yang lebih besar daripada 1500 feet untuk 50% dari panjangnya. Komposisi aliran lalu-lintas adalah 60% kendaraan penumpang, 25% kendaraan rekreasional, dan 15% truk. Asumsikan bahwa pembagian lalu-lintas adalah 60% jalan menanjak dan 40% jalan menurun. Kecepatan arus-bebas dasar adalah 45 mil/jam.

Desain dan Pengendalian Persimpangan

1. PENDAHULUAN

Bab 7 mendiskusikan konsep-konsep dasar yang berkaitan dengan kapasitas dan tingkat pelayanan fasilitas transportasi di mana terdapat arus lalu-lintas tak terhenti (misalnya jalan tol dan jalan raya dua-lajur di daerah luar kota). Salah satu cara yang paling logis untuk menjaga kesinambungan pembahasan Bab 7 dengan bab ini adalah dengan membahas kapasitas persimpangan. Meskipun demikian, sebelum upaya ini dilakukan, akan lebih baik apabila kita pahami dulu konsep dasar mengenai bagaimana persimpangan dirancang dan dikendalikan. Inilah yang akan kita bahas dalam Bab 8. Kapasitas dan tingkat pelayanan persimpangan akan dibahas di Bab 9 (buku Jilid 2).

2. JENIS-JENIS PERSIMPANGAN

Persimpangan merupakan bagian yang tidak terpisahkan dari semua sistem jalan. Ketika berkendara di dalam kota, orang dapat melihat bahwa kebanyakan jalan di daerah perkotaan biasanya memiliki persimpangan, di mana pengemudi dapat memutuskan untuk jalan terus atau berbelok dan pindah jalan. Persimpangan jalan dapat didefinisikan sebagai daerah umum di mana dua jalan atau lebih bergabung atau bersimpangan, termasuk jalan dan fasilitas tepi jalan untuk pergerakan lalu-lintas di dalamnya (AASHTO, 2001).

Karena persimpangan harus dimanfaatkan bersama-sama oleh setiap orang yang ingin menggunakannya, maka persimpangan tersebut harus dirancang dengan hati-hati, dengan mempertimbangkan efisiensi, keselamatan, kecepatan, biaya operasi, dan kapasitas. Pergerakan lalu-lintas yang terjadi dan urutan-urutannya dapat ditangani dengan berbagai cara, tergantung pada jenis persimpangan yang dibutuhkan (AASHTO, 2001).

Secara umum terdapat tiga jenis persimpangan, yaitu: (1) persimpangan sebidang, (2) pembagian jalur jalan tanpa ramp, dan (3) interchange (simpang-susun). *Persimpangan sebidang (intersection at grade)* adalah persimpangan di mana dua jalan raya atau lebih bergabung, dengan tiap jalan raya mengarah keluar dari sebuah persimpangan dan membentuk bagian darinya. Jalan-jalan ini disebut *kaki persimpangan*. Persimpangan seperti ini mempunyai

keterbatasan dan kegunaan sendiri. Contoh persimpangan sebidang diperlihatkan pada Gambar 8-1. Ketika dirasa perlu untuk mengakomodasi volume yang tinggi dari arus lalu-lintas dengan aman dan efisien melalui persimpangan, kita menggunakan lajur lalu-lintas yang dipisahkan dalam tingkatan, dan ini umumnya disebut *interchange*. Jenis dasar interchange (simpang siur) ditunjukkan pada Gambar 8-2. Ketika dua jalan atau jalan raya bersimpangan satu sama lain pada bidang yang berbeda, tanpa hubungan, pengaturannya disebut *pemisahan bidang*.

Penjelasan rinci tentang desain geometris dari persimpangan sebidang dan interchange diuraikan dalam *A Policy on Geometric Design of Highways and Streets* yang diterbitkan oleh American Association of State Highway and Transportation Officials (2001), dan buku ini seharusnya menjadi referensi untuk pemahaman yang lebih mendalam tentang desain yang penting tersebut.

3. PERTIMBANGAN DAN TUJUAN DESAIN

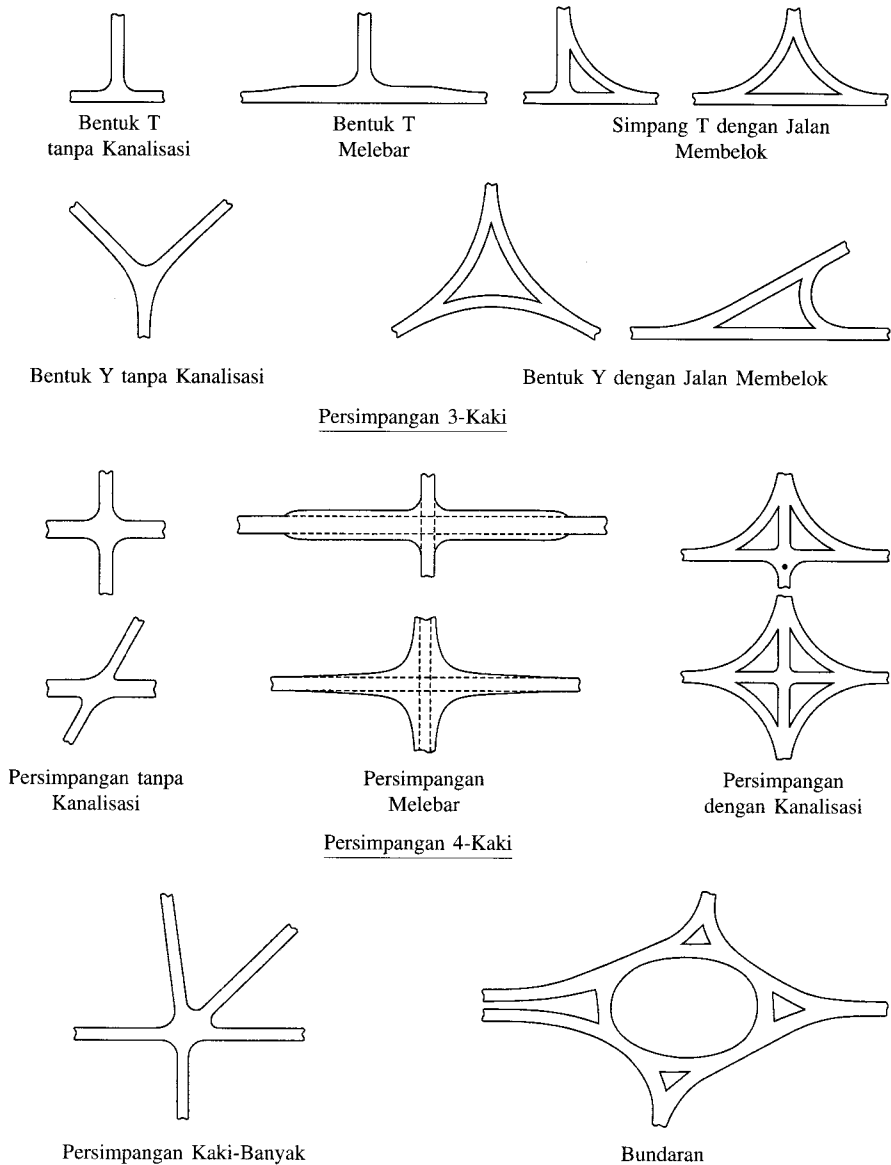
Tujuan dari pembuatan persimpangan adalah mengurangi potensi konflik di antara kendaraan (termasuk pejalan kaki) dan sekaligus menyediakan kenyamanan maksimum dan kemudahan pergerakan bagi kendaraan. Berikut ini adalah empat elemen dasar yang umumnya dipertimbangkan dalam merancang persimpangan sebidang:

1. Faktor manusia, seperti kebiasaan mengemudi, dan waktu pengambilan keputusan dan waktu reaksi
2. Pertimbangan lalu-lintas, seperti kapasitas dan pergerakan membelok, kecepatan kendaraan, dan ukuran serta penyebaran kendaraan
3. Elemen-elemen fisik, seperti karakteristik dan penggunaan dua fasilitas yang saling berdampingan, jarak pandang dan fitur-fitur geometris
4. Faktor ekonomi, seperti biaya dan manfaat, dan konsumsi energi

Khusus untuk interchange, jenis dan desainnya dipengaruhi oleh banyak faktor seperti klasifikasi jalan raya, karakter dan komposisi lalu-lintas, kecepatan desain, dan tingkat pengendalian akses. Interchange merupakan fasilitas yang mahal, dan karena begitu bervariasi kondisinya lokasi, volume lalu-lintas, dan tataletak interchange, hal-hal yang menentukan dibuatnya interchange bisa berbeda-beda di tiap lokasi. AASHTO (2001) menyediakan rincian tentang pemisahan bidang dan interchange. Hal terpenting dalam mempertimbangkan suatu interchange jelas: Layakkah biaya untuk suatu interchange dikeluarkan?

4. PERALATAN PENGENDALI LALU-LINTAS

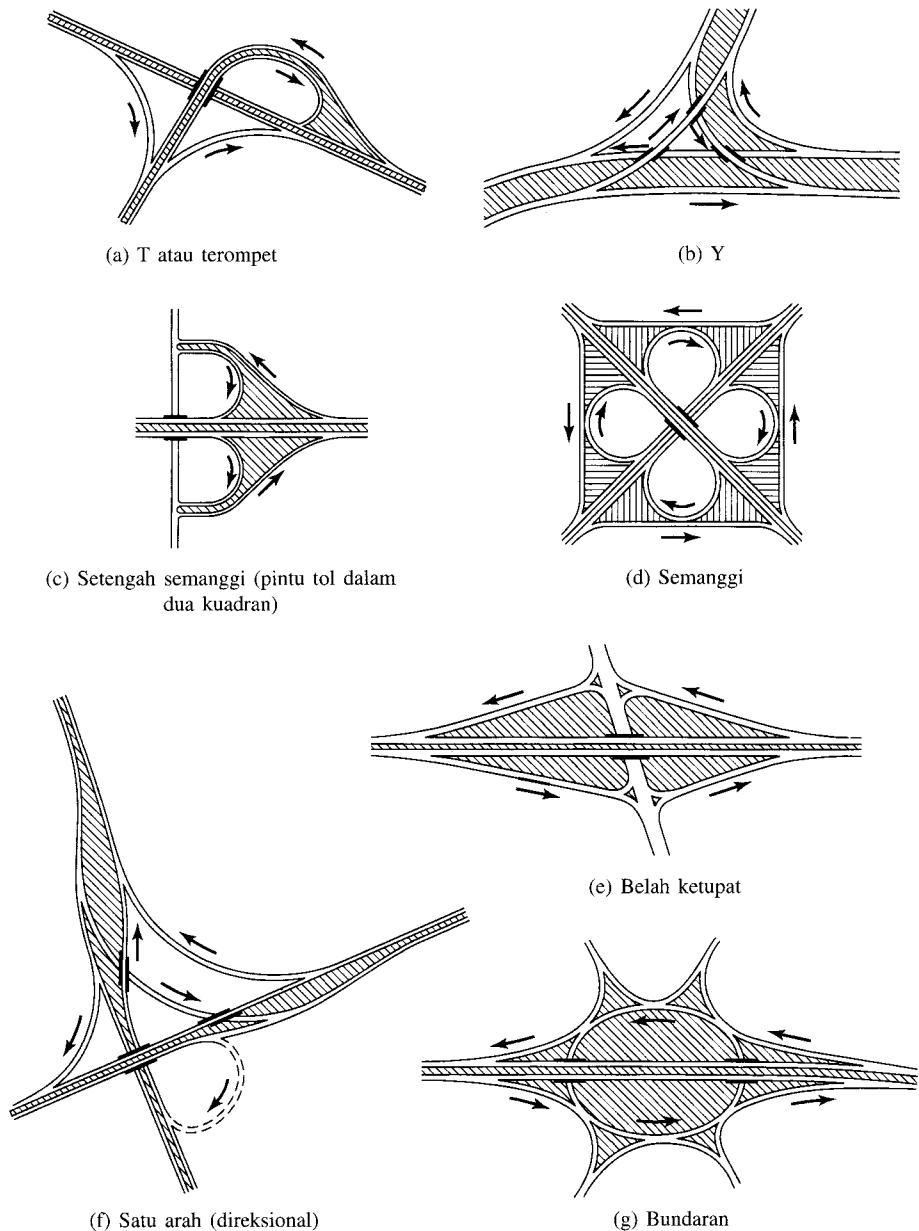
Peralatan pengendali lalu-lintas meliputi rambu, penghalang yang dapat dipindahkan, dan lampu lalu-lintas. Seluruh alat tersebut dapat digunakan secara terpisah atau digabungkan bila perlu. Kesemuanya adalah sarana utama pengaturan, peringatan, atau pemanduan lalu-lintas, di seluruh jalan dan jalan raya. Alat pengendalian lalu-lintas berfungsi menjamin keamanan dan keefisienan persimpangan dengan cara memisahkan aliran kendaraan yang saling bersinggungan pada waktu yang tepat. Dengan kata lain, hak prioritas untuk melalui suatu persimpangan, selama periode waktu tertentu, diberikan hanya kepada satu atau beberapa aliran lalu-lintas saja. Sebagai contoh, rambu peringatan atau berhenti memberikan prioritas jalan kepada aliran lalu-lintas tertentu relatif terhadap aliran lainnya pada persimpangan yang sama. Rambu berhenti empat-arah secara kasar memberikan prioritas jalan pada aliran yang tiba lebih dulu di persimpangan dengan menggunakan lampu lalu-lintas.



Gambar 8-1 Contoh-contoh Persimpangan Sebidang.

Manual on Uniform Traffic Control Devices (MUTCD) (FHWA, 2000) menetapkan prinsip-prinsip yang mengatur desain dan penggunaan alat pengendali lalu-lintas untuk seluruh jalan dan jalan raya yang terbuka untuk umum, terlepas dari jenis kelas atau instansi pemerintah yang memiliki kewenangan.

Rambu lalu-lintas dan marka jalan digunakan untuk membangun sistem jalan atau jalan raya yang dipahami sepenuhnya oleh pengguna jalan, yaitu pengemudi dan pejalan kaki. Secara khusus, rambu lalu-lintas dan marka jalan memenuhi tujuan berikut ini: peraturan lalu-lintas (misalnya batas kecepatan), larangan memutar, memberi peringatan kepada pengemudi dan pejalan kaki mengenai kondisi jalan, dan memandu lalu-lintas agar tetap pada rute yang benar



Gambar 8-2 Jenis-jenis Interchange.

untuk mencapai tujuan melalui rambu dan marka jalan. Tujuan ini berlaku untuk semua alat pengendali, mencakup lampu lalu-lintas, marka jalan dan kanalisasi. Biasanya, supaya efektif, alat pengendali harus memenuhi persyaratan dasar berikut:

1. Memenuhi suatu kebutuhan
2. Menarik perhatian
3. Memberikan pesan yang jelas dan sederhana
4. Menghormati pengguna jalan
5. Memberikan waktu yang memadai untuk memberikan respon yang sesuai

Kriteria berikut harus diterapkan untuk menjamin bahwa kelima persyaratan di atas terpenuhi. Rambu-rambu harus mempunyai desain yang sesuai dan ditempatkan dengan benar dan layak. Rambu-rambu tersebut harus dioperasikan secara konsisten dan dipelihara secara rutin. Yang terakhir, harus terdapat keseragaman dalam penerapannya, sehingga pengenalan dan pemahaman terhadap alat-alat tersebut menjadi mudah dan tidak ada salah tafsir.

Rambu lalu-lintas memiliki empat klasifikasi fungsional berdasarkan penggunaannya, yaitu:

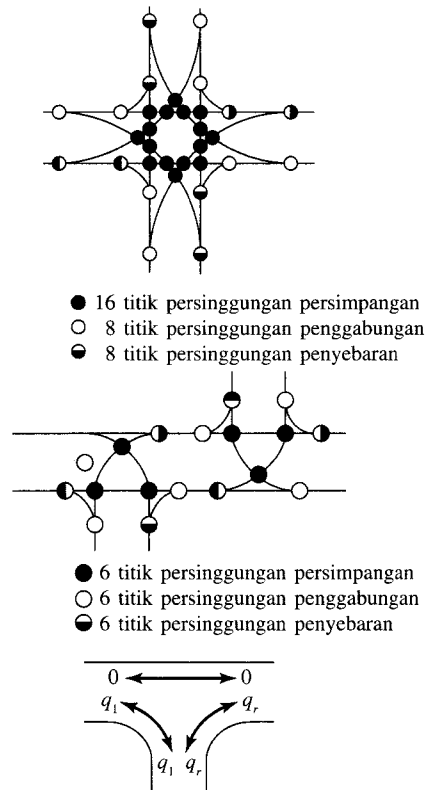
1. *Rambu pengaturan (regulatory sign)* digunakan untuk menerapkan aturan hukum yang berlaku untuk lokasi tertentu. Rambu jenis ini memberikan informasi kepada pengemudi tentang hukum dan peraturan tertentu, yang apabila dilanggar terkena sanksi. Terdapat empat kelompok umum dari rambu pengaturan, tidak termasuk yang untuk pejalan kaki: (1) rambu hak-prioritas-jalan, yang paling umum adalah rambu berhenti dan rambu prioritas; (2) rambu kecepatan; (3) rambu pergerakan, seperti rambu membelok atau rambu satu arah; dan (4) rambu parkir.
2. *Rambu peringatan (warning sign)* digunakan untuk meningkatkan kewaspadaan tentang kondisi bahaya, baik potensial maupun kondisi nyata, yang tidak akan terlihat jika tidak diperingatkan terlebih dahulu. Rambu semacam ini memerlukan perhatian pengemudi dan mungkin menuntut pengurangan kecepatan atau manuver lainnya. Kondisi khusus di mana rambu peringatan biasa digunakan antara lain pada zona konstruksi jalan raya dan jalan-jalan menuju persimpangan, daerah penggabungan jalur, penyeberangan jalan, dan zona sekolah.
3. *Rambu petunjuk atau rambu informasi* menyediakan arah bagi pengemudi dan ke berbagai tujuan. Rambu ini diletakkan relatif jauh di depan persimpangan atau interchange untuk memberikan waktu yang memadai bagi pengemudi untuk memutuskan rute yang akan dipilih.
4. *Rambu pengarahan (directional sign)* pada jalan raya dengan kecepatan tinggi digunakan pada interchange yang berhubungan dengan jalan tol.

5. DAERAH-DAERAH PERSINGGUNGAN DI PERSIMPANGAN JALAN

Gambar 8-3 memperlihatkan aliran kendaraan dan manuver bergabung, menyebar, dan persilangan untuk persimpangan empat-kaki sederhana, dan untuk persimpangan yang lebih rumit. Diagram seperti ini sangat berguna karena jumlah dan jenis persinggungan dapat menunjukkan potensi kecelakaan di sebuah persimpangan. Pada persimpangan yang memiliki dua-lajur, dua-arah, dan empat kaki, terdapat 16 titik potensi persinggungan persilangan, delapan persinggungan penggabungan dan delapan persinggungan penyebaran. Persimpangan-T yang diperlihatkan pada gambar di atas menjalankan fungsi yang hampir sama dengan persimpangan empat-kaki, dan hanya terdiri dari enam titik potensi persinggungan persilangan, tiga titik persinggungan penyebaran dan tiga titik persinggungan penggabungan. Dengan demikian, apakah persimpangan-T lebih superior dibandingkan persimpangan empat-kaki? Belum tentu. Terdapat beberapa faktor lain yang memainkan peranan penting dalam memutuskan untuk memilih tipe atau desain persimpangan tertentu untuk suatu lokasi yang spesifik.

6. JENIS-JENIS PENGENDALIAN PERSIMPANGAN

Terdapat paling tidak enam cara utama untuk mengendalikan lalu-lintas di persimpangan, bergantung pada jenis persimpangan dan volume lalu-lintas pada tiap aliran kendaraan.



Aliran kendaraan pada persimpangan tiga-arah

Gambar 8-3 Aliran Kendaraan dan Laju Penggabungan, Penyebaran, dan Persimpangan (Salter, 1974).

Berdasarkan urutan tingkat pengendalian, dari kecil ke tinggi, di persimpangan, keenamnya adalah: tanpa kendali, kanalisasi, rambu pengendali kecepatan atau rambu berhenti, bundaran, dan lampu lalu-lintas. MUTCD (FHWA, 2000) memberikan petunjuk mengenai penggunaan jenis pengendali persimpangan, dalam bentuk ketentuan.

6.1 Rambu Berhenti

Rambu berhenti harus ditempatkan pada suatu persimpangan pada kondisi-kondisi berikut:

1. Persimpangan antara suatu jalan yang relatif kurang penting dengan jalan utama, di mana penerapan aturan daerah-milik-jalan yang normal bisa berbahaya
2. Persimpangan antara jalan-jalan luar kota dan perkotaan dengan jalan raya
3. Jalan yang memasuki suatu jalan atau jalan raya tembus
4. Persimpangan tanpa lampu lalu-lintas di suatu daerah yang menggunakan lampu lalu-lintas
5. Persimpangan tanpa lampu lalu-lintas di mana kombinasi antara kecepatan tinggi, pandangan terbatas, dan banyaknya kecelakaan serius mengindikasikan adanya kebutuhan akan pengendalian oleh rambu berhenti

Rambu berhenti multi-arah (simpang empat atau lebih) bisa digunakan sebagai ukuran keselamatan di beberapa lokasi di mana volume di persimpangan jalan mendekati sama dan

pada beberapa kondisi berikut:

1. Masalah kecelakaan, diindikasikan oleh lima laporan kecelakaan atau lebih dalam periode 12 bulan, yang bisa diperbaiki dengan adanya pemasangan rambu berhenti multi-arah.
2. (a) Total volume kendaraan yang memasuki persimpangan dari segala penjurur memiliki rata-rata setidaknya 500 kendaraan per-jam untuk setiap 8 jam dari hari biasa, dan (b) kombinasi antara volume kendaraan dan pejalan kaki yang datang dari jalan-jalan minor memiliki rata-rata setidaknya 200 unit per-jam untuk 8 jam yang sama itu, dengan rata-rata penundaan untuk lalu-lintas kendaraan jalan minor setidaknya 30 detik per kendaraan selama jam sibuk, tetapi (c) ketika kecepatan datang persentil ke-85 dari aliran di jalan utama melampaui 40 mil per-jam, maka jaminan volume kendaraan minimumnya adalah 70% dari kebutuhan.
3. Di lokasi di mana lampu lalu-lintas ditempatkan, rambu berhenti multi-arah dapat digunakan sebagai ukuran sementara pemasangan lampu sedang dilakukan.

6.2 Rambu Pengendalian Kecepatan

Rambu ini umumnya ditempatkan:

1. Pada suatu jalan minor di titik masuk menuju suatu persimpangan ketika perlu memberikan hak jalan ke jalan utama, namun di mana kondisi berhenti tidak diperlukan setiap saat, dan di mana kecepatan datang yang aman di jalan minor melebihi 10 mil per-jam.
2. Pada pintu masuk ke jalan ekspres (*expressway*), di mana lajur khusus untuk percepatan tidak ada.
3. Di mana terdapat suatu lajur belok-kanan yang terpisah atau dikanalisasi, namun tanpa adanya lajur percepatan yang memadai.
4. Di semua persimpangan, di mana masalah lalu-lintas dapat ditanggulangi dengan mudah dengan pemasangan rambu pengatur kecepatan.
5. Di suatu persimpangan dengan jalan raya yang terbagi, di mana rambu berhenti terletak di pintu masuk menuju jalan yang pertama, dan pengendalian selanjutnya diperlukan pada pintu masuk menuju jalan yang kedua. Lebar median antara masing-masing jalan harus melebihi 30 feet.

6.3 Kanalisasi di Persimpangan (*Channelization*)

Kanalisasi adalah proses pemisahan atau pengaturan terhadap aliran kendaraan yang saling konflik ke dalam rute-rute jalan yang jelas dengan menempatkan beton pemisah atau rambu perkerasan untuk menciptakan pergerakan yang aman dan teratur bagi kendaraan dan pejalan kaki. Kanalisasi yang benar dapat meningkatkan kapasitas, menyempurnakan keamanan, memberikan kenyamanan penuh, dan juga menaikkan kepercayaan diri pengemudi. Kanalisasi sering kali digunakan bersama dengan rambu berhenti atau rambu pengatur kecepatan atau pada persimpangan dengan lampu lalu-lintas.

Beberapa prinsip dasar untuk membantu perancangan persimpangan yang dikanalisasi adalah sebagai berikut:

1. Pengemudi harus dibantu dengan garis-garis kanal yang mudah diikuti.
2. Tikungan tajam dan tiba-tiba harus dihindarkan.
3. Area persinggungan kendaraan harus dikurangi sebanyak mungkin.
4. Arus lalu-lintas yang bersimpangan tanpa penggabungan dan penjalinan harus berpotongan tepat atau hampir membentuk sudut tegak lurus.

5. Penempatan beton pemisah harus dipilih secara hati-hati dan sesedikit mungkin.
6. Kanalisasi yang berlebihan harus dihindari, karena terbukti kontraproduktif.

Gambar 8-4 memberikan contoh spesifik mengenai persimpangan yang dikanalisasi. *The Intersection Channelization Design Guide* (TRB, 1985) dan AASHTO (2001) menyediakan rincian yang jelas tentang kanalisasi.

6.4 Bundaran (*Rotary*) dan Perputaran (*Roundabout*)

Bundaran dan perputaran adalah persimpangan kanalisasi yang terdiri dari sebuah lingkaran pusat yang dikelilingi oleh jalan satu-arah. Perbedaan mendasar antara bundaran dan perputaran adalah bahwa bundaran umumnya menggunakan lampu lalu-lintas (seperti di Washington, D.C.), sedangkan perputaran tidak. Umumnya, dalam kasus perputaran, lalu-lintas yang masuk mengikuti arah lalu-lintas yang ada di situ.

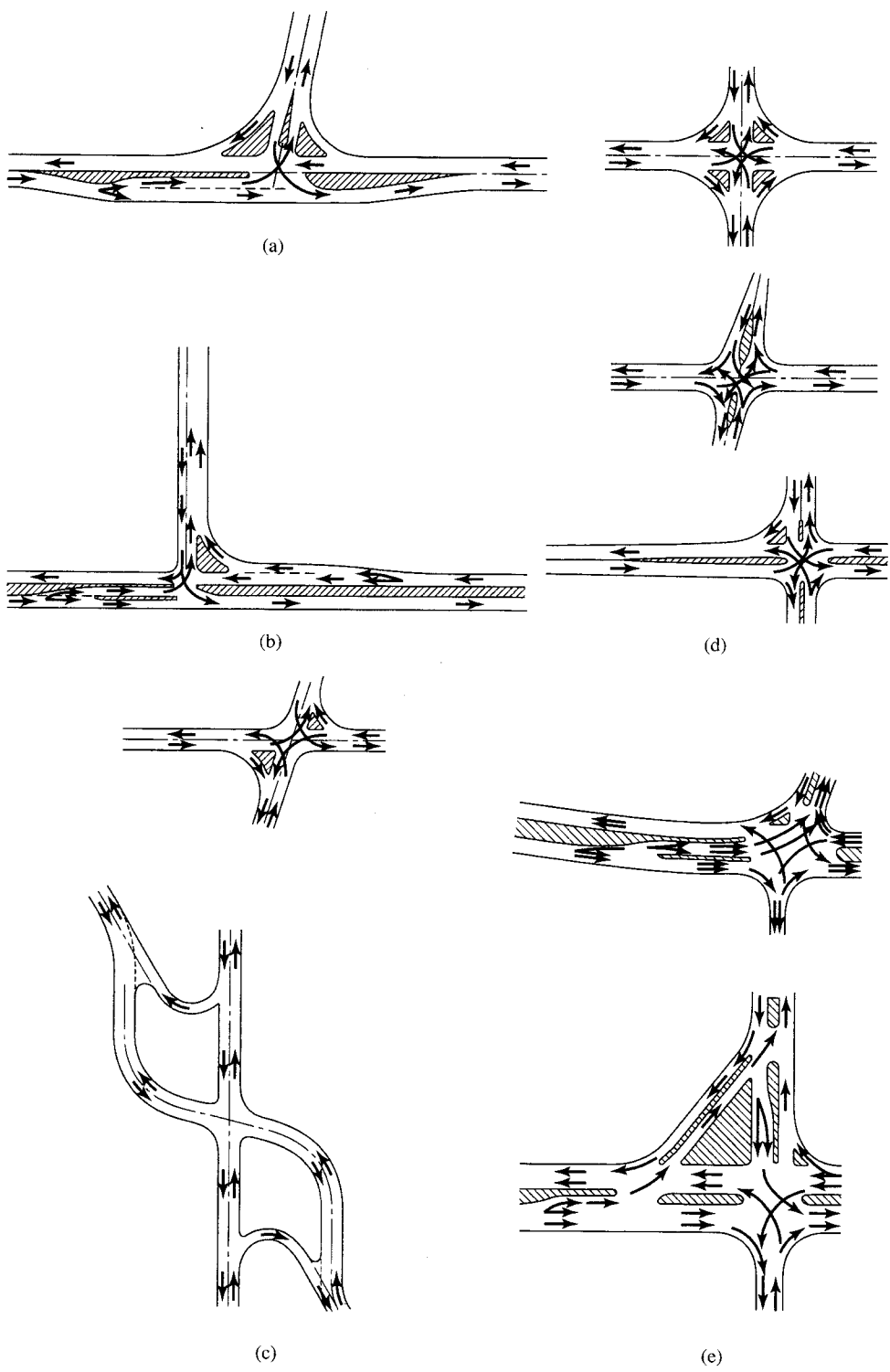
Perputaran umumnya mempunyai tingkat keselamatan yang baik dan kendaraan tidak harus berhenti saat volume lalu-lintas rendah. Perputaran yang didesain dengan baik seharusnya dapat membelokkan kendaraan yang melalui suatu persimpangan dengan menggunakan pulau pusat (*central island*) yang cukup besar, pulau di-dekat-persimpangan yang desainnya layak, dan meliukkan alinyemen keluar dan alinyemen masuknya (lihat kembali Gambar 8-1).

6.5 Persimpangan Tanpa Rambu

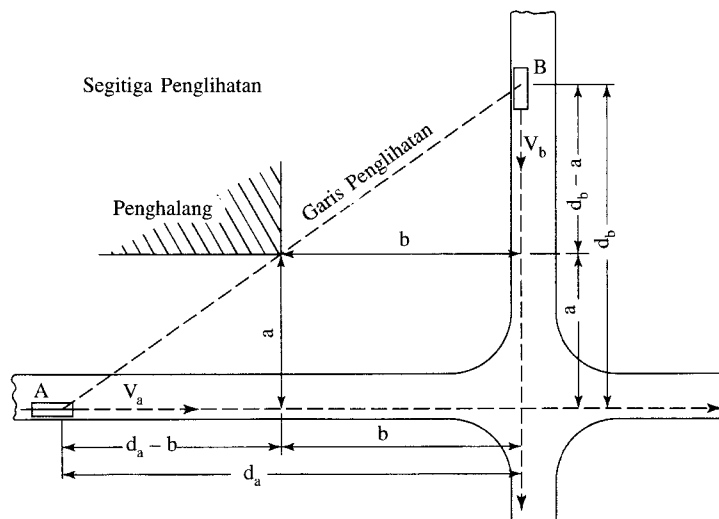
Apabila sebuah persimpangan tidak memiliki peranti pengatur lalu-lintas, pengemudi kendaraan yang menuju persimpangan tersebut harus dapat mengamati keadaan agar dapat mengatur kecepatan yang diperlukan sebelum mencapai persimpangan. Waktu yang diperlukan untuk memperlambat kendaraan adalah waktu persepsi-reaksi pengemudi dan dapat diasumsikan sebesar 2,0 detik. Selain itu, pengemudi harus memulai menginjak rem pada jarak tertentu dari persimpangan. Jarak yang dimaksudkan, di mana pengemudi dapat melihat kendaraan lain datang mendekat di jalur persimpangan, adalah jarak yang ditempuh selama 2,0 detik untuk persepsi dan reaksi, ditambah 1,0 detik lagi untuk mulai menginjak rem atau untuk mempercepat laju hingga mencapai kecepatan yang dibenarkan. Dengan mengacu pada Gambar 8-5, segitiga pandangan ditentukan oleh jarak minimum sepanjang jalan tersebut. Sebagai contoh, apabila jalan raya A mempunyai batas kecepatan 50 mil per-jam dan jalan raya B 30 mil per-jam, akan dibutuhkan segitiga pandangan tanpa halangan, dengan kaki yang panjangnya setidaknya masing-masing 220 feet dan 130 feet dari persimpangan, cukup berdasarkan jarak rata-rata yang dilalui selama 3 detik. Jarak minimum ini dapat memberi kesempatan kendaraan di kedua jalan tersebut untuk mengubah kecepatan sebelum mencapai persimpangan, tetapi fakta ini belum dapat memastikan kalau persimpangan itu aman.

Ada bahaya yang dapat mengancam jiwa pengemudi di persimpangan seperti di atas, terutama apabila terdapat iring-iringan kendaraan yang mendekati persimpangan, sementara waktu yang tersedia hanya cukup untuk menghindari satu mobil saja. Karena jarak yang ditempuh dalam waktu 3 detik terentang mulai dari 70% jarak berhenti yang aman pada kecepatan 20 mil per-jam hingga hanya 36% pada kecepatan 70 mil per-jam, maka penggunaan segitiga pandangan untuk tujuan desain harus dilakukan dengan hati-hati.

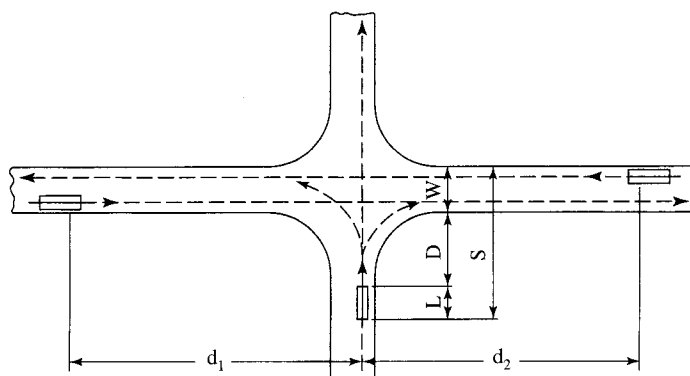
Desain yang aman untuk persimpangan semacam itu harus memungkinkan pengemudi pada kedua jalan raya tersebut untuk melihat persimpangan dan lalu-lintas dalam waktu yang cukup untuk menghentikan kendaraan sebelum mencapai persimpangan. Jarak yang aman untuk berhenti dalam kasus ini adalah sama dengan jarak yang digunakan untuk mendesain bagian jalan raya lainnya.



Gambar 8-4 Contoh-contoh Khusus Persimpangan dengan Kanalisasi (AASHTO, 2001).



(a) Kasus 1 dan 2: Tidak ada pengendalian atau pengendalian batas kecepatan pada jalan minor



(b) Kasus 3: Pengendalian berhenti pada jalan minor

Gambar 8-5 Segitiga Pandangan (AASHTO, 2001).

6.6 Peralatan Lampu Lalu-lintas

Satu metode yang paling penting dan efektif untuk mengatur lalu-lintas di persimpangan adalah dengan menggunakan lampu lalu-lintas. Lampu lalu-lintas adalah sebuah alat elektrik (dengan sistem pengatur waktu) yang memberikan hak jalan pada satu arus lalu-lintas atau lebih sehingga aliran lalu-lintas ini bisa melewati persimpangan dengan aman dan efisien. Lampu lalu-lintas sesuai untuk mengurangi:

1. Penundaan berlebihan pada rambu berhenti dan rambu pengendali kecepatan
2. Masalah yang timbul akibat tikungan jalan
3. Tabrakan sudut dan sisi
4. Kecelakaan pejalan kaki

Karena peralatan lampu lalu-lintas sangatlah penting, bagian selanjutnya pada bab ini akan menjelaskan lebih rinci mengenai desain dan penerapan lampu lalu-lintas.

7. LAMPU LALU-LINTAS

Semua peralatan yang menggunakan listrik (kecuali rambu) untuk pengaturan, pengarahannya, atau peringatan bagi pengemudi atau juga pejalan kaki diklasifikasikan sebagai lampu lalu-lintas. Bagian ini dimulai dengan sejumlah definisi dasar yang berhubungan dengan lampu lalu-lintas dan persimpangan dan dilanjutkan dengan beberapa metode rinci untuk merancang pengaturan-waktu untuk lampu lalu-lintas. Subbab-subbab yang membahas topik ini hanya akan mengemukakan dasar-dasarnya yang penting saja. Rincian lebih dalam dapat ditemukan pada beberapa buku referensi yang disajikan pada bagian akhir bab ini.

7.1 Tujuan Lampu Lalu-lintas

Secara umum, lampu lalu-lintas dipasang pada suatu persimpangan berdasarkan alasan spesifik berikut ini:

- Untuk meningkatkan keamanan sistem secara keseluruhan.
- Untuk mengurangi waktu tempuh rata-rata di sebuah persimpangan, sehingga meningkatkan kapasitas.
- Untuk menyeimbangkan kualitas pelayanan di seluruh aliran lalu-lintas.

Walaupun lampu lalu-lintas dipasang atas dasar jaminan hukum, pemasangannya tetap harus memenuhi persyaratan keselamatan, waktu tempuh, kelayakan, polusi, dan sebagainya. Penjelasan yang lebih dalam tentang jaminan hukum akan dibahas pada bagian berikutnya.

Beberapa kelebihan utama lampu lalu-lintas daripada rambu adalah petunjuk/pengarahannya yang positif bagi pengemudi kendaraan dan pejalan kaki, sehingga mengurangi kemungkinan pengambilan keputusan yang keliru oleh pengemudi; fleksibilitas, dalam artian bahwa pengalokasian hak-prioritas-jalan dapat disesuaikan dengan kondisi arus lalu-lintas; kemampuan untuk mengatur prioritas perlakuan terhadap pergerakan kendaraan; pengendalian yang terkendali di sepanjang jalan atau di jaringan-jaringan daerah; dan penyediaan arus kelompok lalu-lintas yang kontinu melalui koordinasi yang tepat pada kecepatan tertentu dan sepanjang rute tertentu. Di lain pihak, telah diamati bahwa desain lampu lalu-lintas yang buruk dapat meningkatkan frekuensi kecelakaan, penundaan yang lama bagi kendaraan saat mendekati persimpangan, memaksa kendaraan untuk mengambil rute memutar, dan membuat pengemudi marah.

7.2. Definisi-definisi yang Berkenaan dengan Persimpangan dan Lampu Lalu-lintas

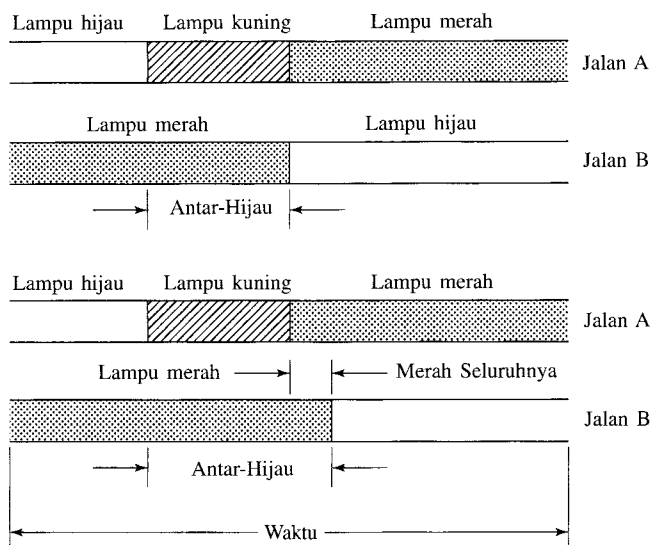
Ada sejumlah istilah yang digunakan dalam bab ini dan beberapa bab lainnya yang perlu didefinisikan. Definisi-definisi tersebut telah disarikan dari *Traffic Engineering Handbook* (Pline, 1992) dan *Highway Capacity Manual* (TRB, 2000).

- *Siklus (panjang siklus atau waktu siklus)*: urutan lengkap suatu lampu lalu-lintas.
- *Fase (fase lampu lalu-lintas)*: bagian dari suatu siklus yang dialokasikan untuk kombinasi pergerakan-pergerakan lalu-lintas yang menerima hak-prioritas-jalan secara simultan selama satu interval waktu atau lebih.
- *Interval*: bagian dari siklus lampu lalu-lintas di mana tidak terjadi perubahan warna lampu.
- *Keseimbangan (offset)*: waktu (dalam detik) antara permulaan fase lampu hijau di satu persimpangan dengan permulaan lampu hijau di persimpangan berikutnya.

- *Antar-hijau (interval perpindahan)*: waktu antara akhir lampu hijau untuk satu fase dengan awal lampu hijau untuk fase lainnya (Gambar 8-6).
- *Interval merah-seluruhnya*: lama waktu menyalnya lampu merah untuk seluruh kaki persimpangan. Dalam beberapa kasus, interval semua-merah digunakan khusus agar para pejalan kaki dapat menyeberangi persimpangan yang relatif lebar.
- *Faktor jam sibuk/puncak (peak-hour factor/PHF)*: dalam kasus persimpangan jalan, perbandingan antara jumlah kendaraan yang memasuki persimpangan selama jam puncak dengan empat kali jumlah kendaraan yang masuk selama periode 15-menit puncak. Jika data lapangan PHF tidak tersedia, maka nilai 0,85 dapat digunakan, di mana arus lalu-lintas selama periode 15-menit = $V / (4 \times 0,85) = 0,294V$, atau sekitar 0,3V, di mana V adalah arus jam-puncak.
- *Headway keberangkatan rata-rata*: Hasil-hasil pengamatan yang dilakukan oleh Greenshield *et al* (1947) menunjukkan bahwa untuk interval lampu hijau 20 sampai 30 detik, headway rata-rata per kendaraan sekitar 2,5 detik.
- *Padanan kendaraan penumpang (passenger-car equivalent/PCE)*: untuk menghitung efek merugikan yang ditimbulkan oleh kendaraan komersial dan pergerakan menikung ketika mulai bergerak (atau headway rata-rata), maka biasanya arus aktual (dinyatakan dengan kombinasi kendaraan per-jam) dikonversikan ke suatu volume ekuivalen dalam kendaraan penumpang yang berjalan lurus melintasi persimpangan. Bis dan truk diasumsikan sebesar 1,5 PCE, dan kendaraan yang menikung ke kiri sekitar 1,6 PCE.

Sebagai tambahan, istilah-istilah berikut ini akan banyak digunakan dalam bab ini dan bab-bab berikutnya (TRB, 1994):

- *Cabang/kaki (approach)*: bagian dari suatu kaki persimpangan yang digunakan oleh kendaraan yang bergerak mendekati persimpangan.
- *Kapasitas*: jumlah maksimum kendaraan yang diperkirakan akan melintasi suatu jalan tertentu atau bagian jalan tertentu dalam satu arah selama periode waktu tertentu pada kondisi lalu-lintas dan kondisi jalan yang umum.



Gambar 8-6 Antarhijau.

- *Volume kritis*: suatu volume (atau kombinasi volume) untuk suatu jalan tertentu yang menghasilkan penggunaan kapasitas terbesar (misalnya, membutuhkan waktu hijau terlama) untuk jalan tersebut, dinyatakan dalam kendaraan penumpang atau kombinasi kendaraan per-jam per lajur (pc/h/ln).
- *Penundaan (delay)*: penambahan waktu berhenti untuk setiap kendaraan yang mendekati persimpangan (dalam detik per kendaraan).
- *Waktu hijau (green time)*: panjang fase lampu hijau ditambah interval perubahannya, dalam detik.
- *Perbandingan lampu hijau (green ratio)*: perbandingan antara lamanya lampu hijau efektif terhadap panjang siklusnya.
- *Volume per-jam*: jumlah kombinasi kendaraan yang melintasi bagian tertentu dari suatu lajur atau jalan selama periode waktu satu jam.
- *Tingkat pelayanan (level of service)*: ukuran yang menunjukkan karakteristik mobilitas dari suatu persimpangan, sebagaimana yang ditentukan oleh penundaan kendaraan, dan faktor sekunder, yaitu perbandingan volume/kapasitas.
- *Bis lokal*: sebuah bis yang memiliki jadwal berhenti tertentu di suatu persimpangan.
- *Volume kendaraan-penumpang*: volume yang dinyatakan dengan kendaraan penumpang, mengikuti penerapan faktor padanan kendaraan penumpang menjadi volume kendaraan.
- *Volume periode*: volume desain, berdasarkan tingkat arus di dalam 15 menit puncak dalam satu jam, dan dikonversikan ke suatu volume per-jam yang berpadanan.
- *Bis lintas (through bus)*: bis yang tidak memiliki jadwal berhenti di persimpangan yang sedang dianalisis.
- *Truk*: kendaraan yang memiliki enam roda (ban) atau lebih untuk berjalan.

7.3 Komponen-komponen Sistem Lampu Lalu-lintas

Instalasi lampu lalu-lintas terdiri dari tampilan-tampilan warna lampu berikut mekanisme pengendaliannya. Instalasi ini juga dapat meliputi berbagai peralatan pendeteksi-kendaraan atau beberapa bentuk peralatan lainnya yang dapat diaktifkan sesuai kebutuhan (seperti tombol tekan untuk pejalan kaki yang hendak menyeberang jalan).

Warna yang ditampilkan lampu lalu-lintas ketika menyala ada beberapa, di mana masing-masing mengendalikan satu aliran lalu-lintas atau lebih yang tiba dari arah yang sama. Kepala lampu lalu-lintas terdiri dari satu muka lampu lalu-lintas atau lebih, yang dapat ditempatkan di sebuah tiang atau digantung pada kabel.

Warna yang menyala pada lampu lalu-lintas dibedakan dengan warna, bentuk, dan kontinuitasnya. Ada tiga warna yang digunakan: (1) *hijau*, untuk memberikan hak jalan kepada satu atau kombinasi aliran lalu-lintas; (2) *merah*, untuk melarang pergerakan atau mengharuskan untuk berhenti; (3) *kuning*, untuk mengatur pemindahan hak jalan dari sekelompok aliran lalu-lintas kepada kelompok lainnya atau untuk memberikan peringatan. Apabila terdapat lampu lalu-lintas khusus bagi pejalan kaki, biasanya berbentuk pesan tulisan atau logo yang berpendar. Nyala lampu lalu-lintas bisa konstan atau berkelap-kelip. Seperti telah diungkapkan sebelumnya, nyala lampu merah mempunyai pengertian yang sama dengan rambu berhenti, sedangkan nyala lampu kuning memperbolehkan kendaraan untuk maju dengan berhati-hati. Nyala lampu “berjalan” mengisyaratkan kepada pejalan kaki bahwa kondisi aliran kendaraan pada saat yang sama memungkinkan bagi pejalan kaki untuk menyeberang. Nyala lampu “dilarang berjalan” ekuivalen dengan nyala lampu kuning.

Pengendali lampu lalu-lintas adalah peranti elektromekanis atau elektronis yang mengatur panjang dan urutan nyala lampu di persimpangan. Pengendali yang waktunya sudah diset

terlebih dahulu beroperasi dengan lama waktu yang tetap yang dialokasikan untuk pergerakan lalu-lintas tertentu dalam urutan yang tetap; penetapan waktu dilakukan berdasarkan pengamatan pola arus di persimpangan tersebut. *Pengendali sesuai-lalu-lintas* dibuat untuk menerima informasi mengenai pola arus lalu-lintas dari berbagai alat pengukur dalam interval waktu yang telah diatur sebelumnya. Informasi ini digunakan untuk memilih satu dari beberapa skema waktu yang disimpan di dalam *memory* alat pengendali.

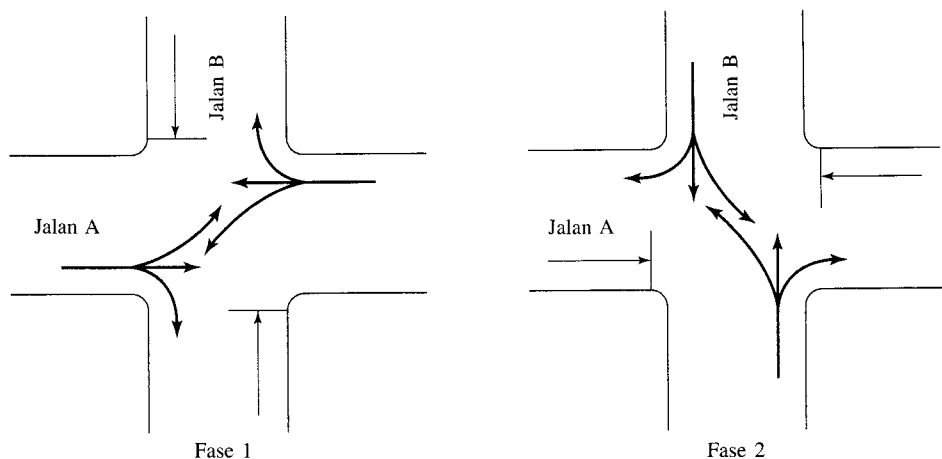
Pengendali yang diaktiasi-lalu-lintas juga menggunakan beberapa alat penginderaan untuk mengubah panjang dan/atau urutan nyala lampu lalu-lintas. Tidak seperti pengendali sesuai-lalu-lintas, pengendali yang diaktiasi-lalu lintas bereaksi terhadap kendaraan individu yang tiba di persimpangan dan bukan terhadap perubahan dalam pola agregat lalu-lintas di persimpangan. Skema pengaturan waktu aktiasi-lalu-lintas biasanya dibatasi oleh panjang-panjang minimum dari menyalanya lampu hijau yang dapat diperpanjang sedikit dengan kedatangan kendaraan hingga mencapai jumlah kendaraan maksimum tertentu. Persimpangan dapat dikendalikan secara individual; atau alternatif lainnya, sederetan persimpangan di sepanjang suatu jalan dapat dihubungkan dan kemudian dikendalikan sebagai satu kelompok.

Pendeteksi dapat diaktifkan oleh datangnya suatu kendaraan. Ada sejumlah prinsip fisika yang digunakan untuk melakukan deteksi: tekanan, distorsi medan magnetik, gangguan pada sinar lampu, perubahan frekuensi gelombang radar, perubahan induktansi pada salah satu loop konduksi, deteksi video menggunakan teknik pemrosesan gambar, dan sebagainya. Alat pendeteksi ini dapat diletakkan di atas jalan, atau pada permukaan, atau di bawah permukaan jalan, atau cukup pada layar video untuk pemrosesan gambar. Pendeteksi tersebut berbeda dalam biaya investasi dan pemeliharannya, demikian pula tingkat akurasi yang dihasilkan.

7.4 Elemen-elemen Sistem Pengaturan-Waktu Lampu Lalu-lintas

Pada persimpangan yang menggunakan lampu lalu-lintas, beberapa aliran lalu-lintas dimungkinkan untuk mendapat hak-jalan secara bersama-sama, sementara aliran lainnya dihentikan. Fase lampu lalu-lintas adalah periode di mana pada periode tersebut satu pergerakan atau lebih diberi lampu hijau secara bersamaan. Gambar 8-7 memperlihatkan diagram fase untuk persimpangan antara dua jalan.

Pertimbangan keselamatan menentukan bahwa suatu fase hanya dapat digunakan bersama oleh aliran-aliran lalu-lintas yang jalur-jalurnya tidak bersimpangan. Namun dalam penerapannya,



Gambar 8-7 Fase-fase Lampu Lalu-lintas.

beberapa persinggungan masih dapat ditolerir. Dalam Gambar 8-7, pejalan kaki dan kendaraan yang belok ke kiri dan ke kanan mendapat lampu hijau dalam waktu yang bersamaan. Di A.S., kendaraan yang menikung ke kiri sering kali diatur agar memungkinkan untuk melewati persimpangan melalui jeda-jeda (*gap*) dalam aliran lalu-lintas yang bergerak pada jalan yang sama tetapi dari arah yang berlawanan.

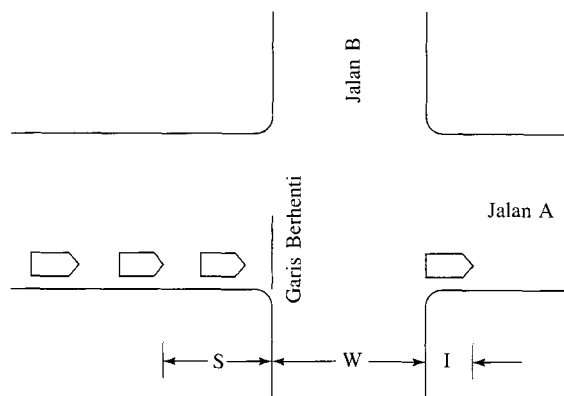
Pada beberapa persimpangan, di mana pejalan kaki dan kendaraan yang menikung sangat banyak, akan lebih menguntungkan bila disediakan satu fase khusus di mana seluruh pergerakan pejalan kaki diperbolehkan sementara seluruh kendaraan berhenti. Fase-fase berikutnya hanya berlaku untuk kendaraan.

Waktu antara akhir dari menyalanya lampu hijau untuk satu fase dengan awal dari menyalanya lampu hijau untuk fase berikutnya disebut *antar hijau (intergreen)*, atau interval perpindahan. Lampu kuning diperlihatkan selama periode antar-hijau yang kemudian diikuti dengan lampu merah. Ini diperlihatkan pada Gambar 8-6. Ketika interval perpindahannya (*clearance interval*) panjang, maka digunakan kombinasi antara lampu kuning dan interval semua-merah. Ini juga diperlihatkan pada Gambar 8-6.

Desain fase lampu lalu-lintas menentukan urutan berbagai fase yang saling mengikuti satu sama lain. Siklus lampu lalu-lintas adalah bagian dari urutan tersebut. Perlu dicatat bahwa keselamatan (upaya menghindari dari persinggungan) dan kualitas pelayanan merupakan faktor terpenting dalam desain lampu lalu-lintas.

Diagram fase dikembangkan dengan cara meninjau sekaligus geometri persimpangan (terutama jumlah lajur di setiap cabang persimpangan) dan jalur-jalur pergerakan di keseluruhan persimpangan. Keselamatan adalah kriteria tunggal untuk menghitung waktu antar-hijau. Beberapa faktor yang mempengaruhi panjangnya antar-hijau meliputi jarak berhenti yang aman, kecepatan mendekati persimpangan, kecepatan berjalan para pejalan kaki, dan lebar perkerasan.

Apabila waktu siklus dikurang dengan jumlah antarihijau-antarihijau dari seluruh fase, maka hasilnya adalah waktu hijau total per siklus. Pemilihan waktu hijau bergantung pada apakah kita akan meminimalkan waktu tempuh rata-rata total di suatu persimpangan, atau apakah kita ingin menyeimbangkan permintaan dan kapasitas pada suatu periode waktu tertentu, atau apakah kita ingin meminimalkan waktu tempuh individual maksimum di persimpangan, dan sebagainya. Tiap tujuan akan menghasilkan waktu siklus dan lampu hijau yang berbeda-beda.



Gambar 8-8 Jarak Perpindahan.

7.4.1 Perhitungan Periode Antar-Hijau Pengkajian terhadap Gambar 8-6 akan menunjukkan bahwa periode antar-hijau, yang terdiri dari periode lampu kuning atau periode lampu kuning plus periode lampu merah-seluruhnya, dibutuhkan untuk memperingatkan pengemudi berkenaan dengan perubahan dari lampu hijau menjadi lampu merah. Ketika lampu kuning menyala, pengemudi yang berada pada suatu jarak (dari garis berhenti) yang lebih besar daripada jarak berhentinya dapat menghentikan kendaraan dengan nyaman. Mengacu pada Gambar 8-8, pengemudi yang berada lebih dekat dengan garis berhenti dibandingkan jarak berhenti mereka akan mempercepat kendaraan dan melewati persimpangan. Pengemudi yang berada tepat di atau sangat dekat dengan garis berhenti (disebut “zona dilema”) bisa (1) berhenti atau (2) mempercepat kendaraan (ketika berada dekat garis berhenti) untuk melewati persimpangan. Jalur kendaraan yang melampaui jarak tertentu dinyatakan dengan

$$S + W + l \quad (1)$$

di mana

S = jarak berhenti yang aman

W = jarak dari garis berhenti sampai bagian belakang kendaraan lepas dari persimpangan

l = panjang kendaraan

Dengan demikian, waktu antar-hijanya adalah:

$$I = \frac{S + W + l}{v} = t_r + \frac{v}{2a} + \frac{W + l}{v} \quad (2)$$

di mana

v = kecepatan kendaraan (ft/detik)

$g = 32,2 \text{ ft/detik}^2$

t_r = waktu persepsi-reaksi (1 sampai 2,5 detik)

$a = 10 \text{ ft/detik}^2$ pada saat perkerasan basah dan 20 ft/detik^2 pada saat perkerasan kering

W dan l diukur dalam ft. Jika lampu merah-seluruhnya tidak ada, maka:

$$I = A \quad (3)$$

dengan kata lain, antar-hijau sama dengan nyala lampu kuning. Sekarang perhatikan waktu nyala lampu kuning yang ditentukan berdasarkan pergerakan pejalan kaki, dalam arah yang sama dengan kendaraan, menyeberangi jalan B. Jika lampu lalu-lintas untuk pejalan kaki tidak tersedia, diasumsikan bahwa pejalan kaki terakhir akan mulai menyeberang jalan tepat pada saat lampu kuning menyala. Maka waktu tempuh untuk menyeberang bagi pejalan kaki adalah:

$$R_i = \frac{W_j}{v_{\text{ped}}} \quad (4)$$

di mana W_j adalah lebar jalan atau hingga median jalan, v_{ped} adalah kecepatan pejalan kaki (4 ft/detik). Jika R_i lebih panjang dari l_i , gunakan R_i sebagai l_i .

Contoh 1

Tentukan durasi optimal untuk fase lampu kuning untuk menghilangkan *zona dilema* pada sebuah persimpangan. Diasumsikan bahwa zona dilema ini dapat dihilangkan hanya dengan menyesuaikan durasi lampu kuning.

Jawaban

Untuk menghentikan kendaraan sebelum garis berhenti, pengemudi harus mulai menginjak rem pada jarak:

$$S = t_r v + \frac{v^2}{2a}$$

dari garis berhenti, disebut *zona berhenti*. Suku t_r di sini adalah waktu reaksi pengemudi, v adalah kecepatan, dan a adalah tingkat perlambatan.

Di sisi lain, fase lampu kuning Y harus disediakan untuk memungkinkan suatu kendaraan melewati persimpangan jika kendaraan tersebut terlalu dekat dengan persimpangan ketika fase lampu kuning dimulai. Jarak ke garis berhenti dari kendaraan tersebut, untuk melewati persimpangan selama fase lampu kuning, disebut *zona pergi*, dinyatakan dengan

$$G = vY - (W + l)$$

di mana W adalah lebar jalan, dan l adalah panjang kendaraan.

Zona dilema adalah jarak antara G dan S , yaitu

$$D = G - S = vY - (W + l) - (t_r v + v^2/2a)$$

Untuk meminimalkan D , kita menetapkan $D = 0$, untuk memperoleh

$$Y = t_r + \frac{v}{2a} + \frac{W + l}{v} \quad (5)$$

yang merupakan durasi optimal untuk fase lampu kuning.

Pembahasan

Tujuan menghilangkan zona dilema adalah membantu pengemudi menetapkan satu patokan, atau garis imajiner, yang jelas di mana di belakang garis ini kendaraan harus direm, atau di mana di depan garis ini kendaraan harus melewati persimpangan, ketika lampu kuning mulai menyala. Namun karena perbedaan fitur geometris persimpangan, zona dilema pada beberapa persimpangan tidak dapat dihilangkan sepenuhnya hanya dengan penyesuaian fase lampu kuning. Ketika lampu merah-seluruhnya tidak tersedia, waktu antar-hijau menjadi fase kuning.

7.4.2 Siklus Terpendek Berdasarkan Kebutuhan Pejalan Kaki Di daerah perkotaan di mana sirkulasi pejalan kaki merupakan hal penting dan patut diperhitungkan, biasanya tersedia lampu lalu-lintas bagi pejalan kaki. Ketika lampu “jalan/dilarang jalan” digunakan, panjang fase pejalan kaki dapat mempengaruhi waktu menyalanya lampu hijau di persimpangan tersebut. Pejalan kaki membutuhkan waktu total untuk melintasi persimpangan sebesar

$$Z + R_i \text{ detik} \quad (6)$$

di mana Z adalah periode awal di mana selama periode ini lampu “jalan” menyala, biasanya ≈ 7 detik; R_i adalah waktu perpindahan dari pejalan kaki terakhir yang mulai menyeberangi persimpangan ketika lampu pejalan kaki mulai beralih ke “dilarang berjalan”.

Karena sebagian atau keseluruhan R_i dapat menyatu dengan waktu antar-hijau, maka fase pejalan kaki hanya membutuhkan

$$P_i = Z + R_i - I_i \quad (7)$$

di mana P_i adalah fase pejalan kaki (detik) selama lampu hijau menyala. (*Catatan:* Diasumsikan bahwa R_i lebih panjang dari I_i ; jika I yang lebih besar, $P_i = Z$). Maka

$$P_i = \min G_i \quad (8)$$

7.5 Pengaturan Waktu untuk Lampu Lalu-lintas Terisolasi

Selama bertahun-tahun, para insinyur jalan telah menggunakan beberapa metode untuk mendesain lampu lalu-lintas terisolasi yang waktu-waktunya dapat diatur sebelumnya. Dewasa ini, sejumlah program komputer telah dikembangkan agar proses desain bisa dilakukan lebih cepat. Tiga metode manual untuk desain akan dibahas dalam bagian ini: (1) Metode Homburger dan Kell, (2) Metode Pignataro, dan (3) Metode Webster.

7.5.1 Metode Homburger dan Kell Metode yang dikembangkan oleh Homburger dan Kell (Homburger dkk, 1988) ini menggunakan volume lalu-lintas sebagai dasar untuk mengalokasikan waktu untuk cabang-cabang persimpangan, dengan menjaga siklus non-jam-sibuk sependek mungkin (40 sampai 60 detik). Siklus jam-sibuk bisa lebih panjang, tergantung pergerakan di jalan utama. Prosedur umum metode ini adalah sebagai berikut:

1. Pilihlah interval perubahan kuning antara 3 sampai 5 detik untuk kecepatan kurang dari 35 mil/jam hingga kecepatan yang lebih dari 50 mil/jam.
2. Tentukan kebutuhan untuk waktu perpindahan tambahan dengan menggunakan Persamaan (5) dan juga pastikan apakah fase merah-seluruhnya dibutuhkan.

$$Y = t_r + \frac{v}{2a} + \frac{W + 1}{v}$$

dengan mengasumsikan bahwa a adalah tingkat perlambatan 10 ft/detik²

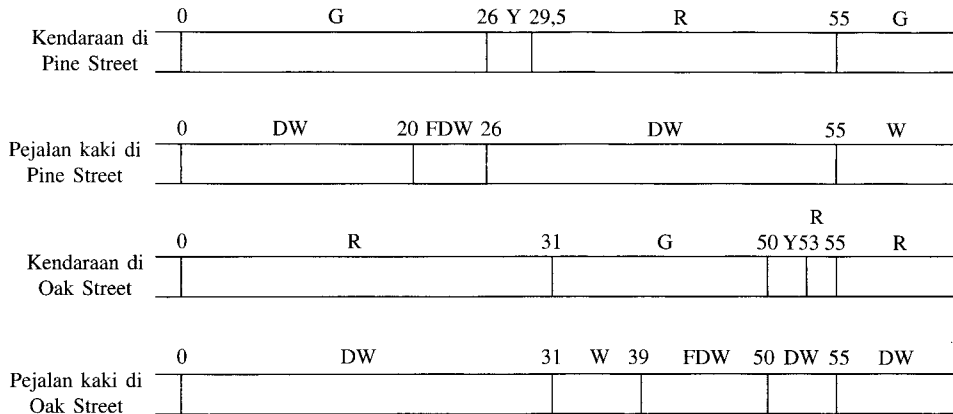
3. Tentukan waktu perpindahan (*clearance time*) yang dibutuhkan oleh pejalan kaki, dengan asumsi bahwa kecepatan pejalan kaki adalah 4 ft/detik.
4. Hitunglah waktu-waktu lampu hijau minimum, dengan periode lampu “jalan” untuk pejalan kaki minimal 7 detik.
5. Hitunglah waktu-waktu hijau berdasarkan salah satu volume cabang persimpangan di lajur kritis pada tiap jalan ketika jam puncak/sibuk.
6. Sesuaikanlah panjang siklus (jumlah dari seluruh hijau dan kuning) ke interval 5-detik lebih tinggi berikutnya dan distribusikanlah kembali waktu hijau tambahan.
7. Hitung nilai-nilai persentase untuk seluruh interval.

Contoh 2

Aturlah waktu dari sebuah lampu lalu-lintas terisolasi yang memiliki lampu pejalan kaki di persimpangan antara Pine dan Oak Street: lebar Pine Street 56 ft, Oak Street 40 ft. Selama jam sibuk, volume lajur kritis adalah 350 kendaraan/jam untuk Pine Street dan 250 kendaraan/jam untuk Oak Street, sedangkan kecepatan mendekati persimpangan adalah 40 mil/jam (58,7 ft/detik) untuk Pine Street dan 25 mil/jam (36,7 ft/detik) untuk Oak Street (lihat Gambar 8-E2).

Jawaban

1. Pilihlah interval-interval perubahan kuning.
Pine Street: 3,5 detik Oak Street: 3 detik
2. Hitunglah waktu-waktu perpindahan non-dilema.



Gambar 8-C2 Fase-fase untuk Metode Homburger dan Kell.

$$\text{Pine Street: } 1 + \frac{58,7}{20} + \frac{40 + 20}{58,7} = 4,9 \text{ detik atau } 5 \text{ detik}$$

$$\text{Oak Street: } 1 + \frac{36,7}{20} + \frac{56 + 20}{36,7} = 5,0 \text{ detik atau } 5 \text{ detik}$$

Hitung interval perpindahan merah-seluruhnya.

Setelah lampu kuning Pine Street: $5 - 3,5 = 1,5$ detik

Setelah lampu kuning Oak Street: $5 - 3 = 2$ detik

3. Tentukan waktu perpindahan pejalan kaki.

Pine Street (menyeberangi Oak Street): $40/4 = 10$ detik

Oak Street (menyeberangi Pine Street): $56/4 = 14$ detik

FDW (Pine Street) = $10 - 3,5 = 6,5$ detik

FDW (Oak Street) = $14 - 3 = 11$ detik

di mana FDW = menyalanya lampu “dilarang berjalan” (*flashing “don’t walk”*)

4. Hitunglah waktu-waktu hijau minimum (waktu perpindahan pejalan kaki – kuning + waktu minimum berjalan)

Pine Street: $10 - 3,5 + 7 = 13,5$ detik; gunakan minimum 15-detik

Oak Street: $14 - 3 + 7 = 18$ detik

5. Hitunglah waktu-waktu hijau (menggunakan Oak Street sebagai minimum kritis).

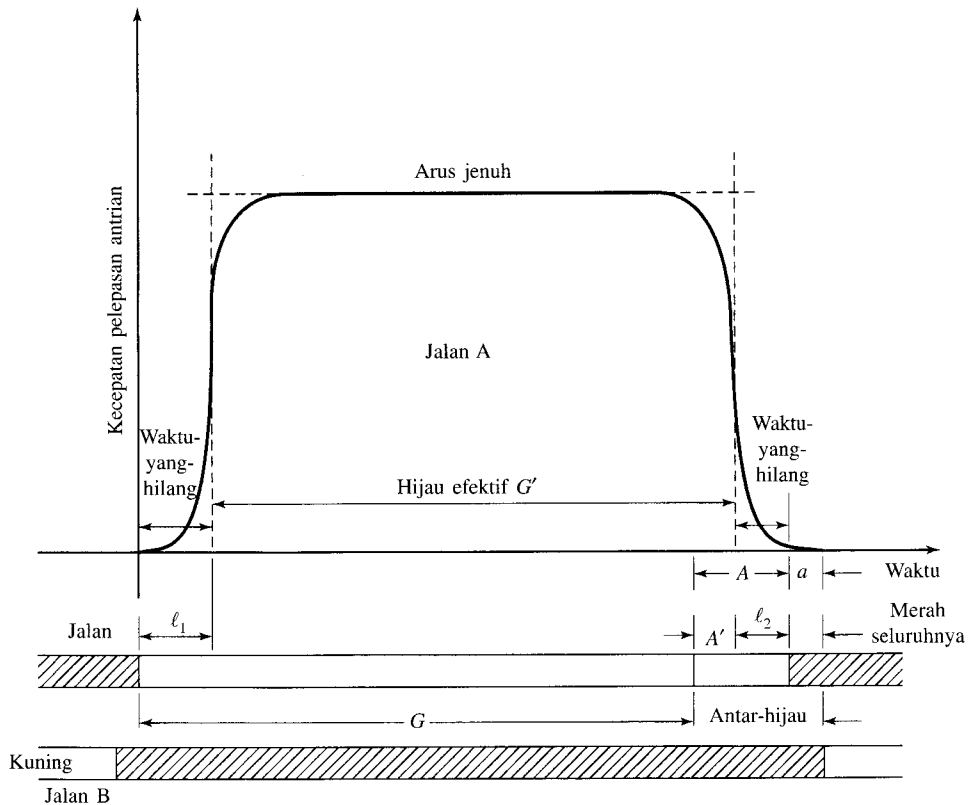
$$350(18)/250 = 25,2 \text{ detik} \approx 25 \text{ detik (lampu hijau di Pine Street)}$$

6. Sesuaikanlah panjang siklus dan distribusikanlah kembali waktu hijau tambahan.

Total siklus = $25 + 5 + 18 + 5 = 53$ detik; gunakan 55 detik

Waktu hijau tambahan = $55 - 53 = 2$ detik; berikan 1 detik kepada Pine Street (= 26 detik) dan 1 detik pada Oak Street (= 19 detik)

7. Hitung nilai persentase untuk seluruh interval untuk pengaturan-pengaturan kunci.



Gambar 8-9 Arus Jenuh.

7.5.2 Metode Webster Webster menggunakan pengamatan lapangan yang ekstensif dan simulasi komputer untuk menghasilkan prosedur yang sangat baik dalam mendesain lampu lalu-lintas. Asumsi dasar dalam pekerjaan Webster adalah bahwa kedatangan kendaraan terjadi secara acak. Webster mengembangkan persamaan klasik untuk menghitung penundaan rata-rata per kendaraan ketika mendekati persimpangan, dan juga menurunkan sebuah persamaan untuk memperoleh waktu siklus optimum yang menghasilkan penundaan kendaraan minimum. Meskipun elemen-elemen dari metode Webster disajikan dalam bagian ini, pembaca disarankan untuk membaca Webster dan Cobbe (1962) untuk rincian yang lebih mendalam.

Webster menggunakan terminologi yang membutuhkan sedikit penjelasan, sehingga kita memulai bagian ini dengan mendefinisikan beberapa istilah, seperti “arus jenuh” (*saturation flow*) dan “waktu yang hilang” (*lost time*). Ini diikuti oleh uraian tentang penundaan rata-rata dan waktu siklus optimum. Beberapa contoh penerapan konsep ini juga akan disajikan.

7.5.3 Arus Jenuh, q_s , dan Waktu-yang-Hilang Sebuah studi tentang Bergeraknya kendaraan melewati garis berhenti di sebuah persimpangan menunjukkan bahwa ketika lampu hijau mulai menyala, kendaraan membutuhkan waktu beberapa saat untuk mulai bergerak dan melakukan percepatan menuju kecepatan normal, tetapi setelah beberapa detik, antrian kendaraan mulai bergerak pada kecepatan yang relatif konstan, disebut *arus jenuh* (lihat Gambar 8-9). Arus jenuh adalah arus yang akan diperoleh seandainya terdapat antrian kendaraan yang kontinu dan seandainya kendaraan diberi waktu hijau 100%. Arus jenuh biasanya dinyatakan dalam kendaraan per-jam waktu hijau. Dari gambar dapat dilihat bahwa tingkat arus rata-rata lebih

rendah selama beberapa detik pertama (ketika kendaraan mempercepat menuju kecepatan normal) dan juga selama lampu kuning menyala (ketika beberapa kendaraan memutuskan untuk berhenti sementara lainnya terus bergerak). Akan lebih mudah apabila kita mengganti periode hijau dan kuning dengan periode “hijau efektif”, selama arus diasumsikan terjadi pada tingkat kejenuhan, digabungkan dengan waktu yang “hilang” di mana selama periode ini arus diasumsikan jenuh. Konsep ini berguna karena kapasitas akan berbanding lurus dengan waktu hijau efektif. Secara grafis, ini berarti menggantikan kurva di dalam gambar dengan sebuah persegi panjang yang luasnya sama, di mana tinggi persegi panjang sama dengan arus jenuh rata-rata dan alasnya adalah waktu hijau efektif. Selisih antara waktu hijau efektif dengan periode gabungan hijau dan kuning disebut sebagai *waktu-yang-hilang*.

Arus jenuh dan waktu-yang-hilang dapat diukur di jalan secara langsung, dan sebuah metode untuk melakukan hal ini adalah sebagai berikut: Amatilah suatu lajur, atau keseluruhan cabang persimpangan, sebisa mungkin, dengan menggunakan pencatat waktu (*stopwatch*) untuk mengukur jumlah kendaraan yang melintas tanda berhenti, mulai dari awal fase lampu hijau sampai bumper depan dari kendaraan ke-*n* melintasi garis-berhenti selama setiap interval 0,1 menit, secara berurutan, dari lampu hijau dan kuning. Prosedur ini dapat diilustrasikan dengan baik melalui contoh berikut ini.

Contoh 3

Sebuah cabang persimpangan yang dikendalikan oleh lampu lalu-lintas waktu-tetap diamati untuk 15 interval waktu-jenuh, masing-masing selama 0,1 menit, dengan hasil berikut:

Interval waktu (menit)	0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5
Jumlah interval waktu jenuh		15	15	15	15	15
Jumlah kendaraan yang melintasi garis berhenti	22	35	30	28	26	
Pelepasan tiap 0,1 menit	1,46	2,33	2,00	1,86	1,73	

Di akhir periode lampu kuning, terdapat interval kurang dari 0,1 menit. Panjang periode ini dan jumlah kendaraan yang melintasi tanda berhenti dicatat. Interval-interval ini disebut *interval waktu jenuh akhir (last saturated interval)*. Pengamat mencatat hasil berikut:

Durasi total dari seluruh interval waktu jenuh akhir = 50 detik

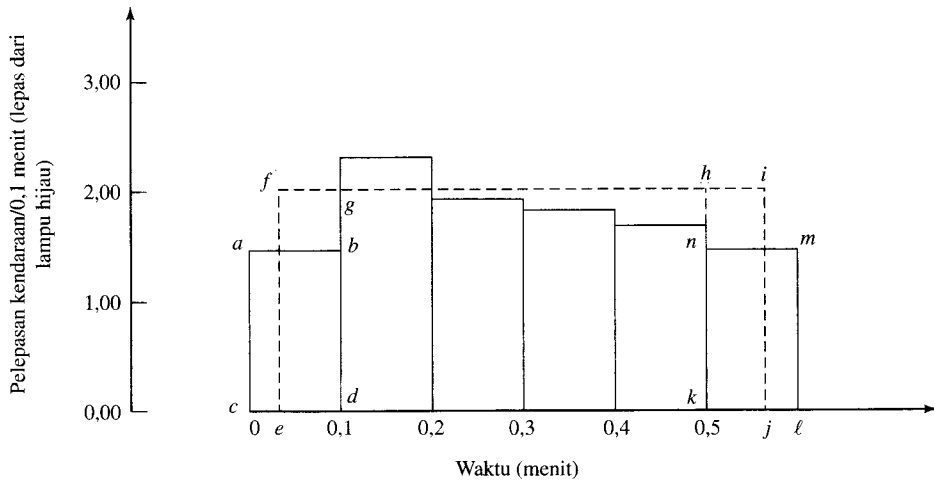
Jumlah total kendaraan yang melintasi garis berhenti = 13

$$\begin{aligned} \text{Pelepasan tiap 0,1 menit selama interval waktu jenuh akhir} &= \frac{13}{50/60} \times \frac{1}{10} \\ &= 1,56 \text{ kendaraan.} \end{aligned}$$

Estimasikanlah waktu-yang-hilang.

Jawaban

Selama interval waktu jenuh pertama dan akhir, terdapat kehilangan kapasitas, karena kendaraan melakukan percepatan dari posisi diam pada awal menyalanya lampu hijau dan melakukan perlambatan selama periode kuning. Arus selama waktu pengamatan yang tersisa mewakili pelepasan (*discharge*) maksimum yang paling memungkinkan:



Gambar 8-C3 Pengamatan Gerak Kendaraan melintasi Garis Berhenti.

$$\begin{aligned}\text{Arus jenuh} &= \frac{2,33 + 2,00 + 1,86 + 1,73}{4} \\ &= 1,98 \text{ kendaraan per } 0,1 \text{ menit} \\ &= 1.188 \text{ kendaraan/jam}\end{aligned}$$

Waktu-yang-hilang pada awal dan akhir periode hijau dapat dihitung dengan mengacu pada Gambar 8-E3. Jumlah kendaraan yang direpresentasikan oleh persegi panjang *efij* sama dengan jumlah kendaraan yang direpresentasikan oleh diagram balok di dalam histogram. Demikian pula, jumlah kendaraan yang direpresentasikan daerah *dghk* juga sama dengan jumlah kendaraan yang direpresentasikan oleh empat periode 0,1 menit dari arus jenuh di antara *d* dan *k*. Dengan demikian,

$$\text{Daerah } abcd = \text{daerah } efgd$$

dan

$$\text{Daerah } hijk = \text{daerah } nmlk$$

Maka,

$$ed \times 1,98 = 1,46 \times 0,1$$

$\Rightarrow$

$$ed = 0,074 \text{ menit}$$

dan

$$ce = 0,1 - 0,074 = 0,026 \text{ menit}$$

Dengan cara yang sama,

$$kj \times 1,98 = 1,56 \times 0,1$$

$\Rightarrow$

$$kj = 0,079$$

dan

$$jl = 0,1 - 0,079 = 0,021 \text{ menit}$$

Maka,

$$ce + jl = 0,026 + 0,021 = 0,047 \text{ menit} = 2,82 \text{ detik}$$

dengan demikian, waktu-yang-hilang selama fase hijau adalah 2,82 detik.

Pembahasan

Dalam jenis percobaan seperti ini, beberapa hal yang penting untuk dicatat adalah sebagai berikut:

1. Jika arus yang mendekati persimpangan tidak jenuh, pengamatan harus dihentikan sampai arus kembali mendekati tingkat kejenuhan.
2. Penyebaran truk, bis, dan tipe kendaraan lainnya pergerakan menikung juga penting dan harus dicatat.
3. Efek kendaraan besar dan sepeda motor diperhitungkan (dalam praktek di Inggris) dengan membuat konversi sebagai berikut [dalam satuan kendaraan-penumpang atau *passenger-car units* (PCU)]:

1 kendaraan penumpang atau kendaraan komersial ringan	= 1,00 PCU
1 kendaraan komersial berat atau medium	= 1,75 PCU
1 bis	= 2,25 PCU
1 sepeda motor	= 0,33 PCU
1 sepeda	= 0,20 PCU

4. Kendaraan yang berbelok ke kanan (berlaku di Amerika Serikat atau negara-negara yang menggunakan kendaraan stir kiri; dengan demikian, untuk kondisi di Indonesia, 'kendaraan yang berbelok ke kiri'; red) tidak mempengaruhi arus.

7.5.4 Penundaan Rata-rata dan Waktu Siklus Optimum Persamaan klasik Webster adalah sebagai berikut:

$$d = \frac{C(1 - \theta)^2}{2(1 - \theta x)} + \frac{x^2}{2q(1 - x)} - 0,65 \left(\frac{C}{q^2} \right)^{1/3} x^{2+5\theta} \quad (9)$$

di mana

d = rata-rata penundaan per kendaraan saat mendekati persimpangan (detik)

C = waktu siklus (detik)

θ = proporsi panjang siklus yang efektif hijau (g/C) untuk fase tersebut

q = tingkat arus (kendaraan/detik)

s = arus jenuh (kendaraan/detik) = 1.800 kendaraan/jam

x = tingkat kejenuhan

= perbandingan arus aktual dengan arus maksimum yang mendekati persimpangan

= $q/\theta s$

Untuk mendapatkan perkiraan waktu penundaan secara lebih mudah, Persamaan (9) dapat dinyatakan sebagai berikut:

$$d = CA + \frac{B}{q} - D$$

A , B , dan D telah dihitung dan ditabulasi oleh Webster untuk mempermudah penerapan.

Model Webster menghitung perkiraan panjang siklus yang meminimumkan penundaan persimpangan total dan waktu hijau efektif untuk tiap kendaraan yang mendekati persimpangan, dengan cara melakukan proses diferensi atas persamaan untuk memperoleh penundaan total terhadap waktu siklus. Hasilnya adalah:

$$C_0 = \frac{1,5L + 5}{1,0 - (Y_1 + Y_2 + \dots + Y_n)} = \frac{1,5L + 5}{1,0 - \sum_{i=1}^n Y_i} \quad (10)$$

di mana

C_0 = panjang siklus optimum (detik)

L = total-waktu-yang hilang per siklus, umumnya dihitung sebagai penjumlahan dari total waktu kuning dan merah-seluruhnya per siklus (detik)

Y = arus volume/jenuh yang diamati, untuk cabang persimpangan kritis dalam tiap fase

Perlu dicatat bahwa siklus optimum ini adalah siklus yang menghasilkan nilai tertinggi pada perbandingan antara arus dengan arus jenuh.

Pendistribusian waktu hijau untuk tiap fase berbanding lurus dengan volume-volume lajur kritis dalam tiap fase. Untuk persimpangan dua-fase, waktu hijau bersihnya adalah:

$$G = C_0 - A_1 - A_2 - nl \quad (11)$$

di mana

G = waktu hijau bersih (detik)

C_0 = panjang siklus optimum (detik)

A_1 = interval perubahan kuning dalam fase 1 (detik)

A_2 = interval perubahan kuning dalam fase 2 (detik)

n = jumlah fase ($n = 2$)

l = waktu yang hilang per fase (detik)

Persamaan Webster dapat digunakan untuk memilih panjang siklus untuk persimpangan tertentu. Persamaan ini menghasilkan panjang siklus (C_0) yang biasanya lebih pendek daripada panjang siklus yang diperoleh dengan metode lain, dan mengindikasikan bahwa panjang siklus harus sependek mungkin. Webster juga menyimpulkan bahwa penundaan tidak meningkat secara signifikan dengan perubahan panjang siklus dalam rentang $0,75 C_0$ sampai $1,5 C_0$. Namun demikian persamaannya cukup peka terhadap kesalahan dalam estimasi-estimasi yang berhubungan dengan tingkat arus kendaraan dan arus jenuh kendaraan.

7.5.5 Lampu Lalu-lintas Waktu-Tetap untuk Instalasi Dua-Fase Tahap-tahap berikut ditetapkan untuk merancang lampu lalu-lintas waktu-tetap untuk instalasi dua-fase yang tidak mempunyai lajur atau fase untuk menikung.

1. Untuk setiap cabang persimpangan, hitunglah atau ukurlah arus kejenuhan q_s .
2. Untuk setiap cabang persimpangan, hitunglah volume jam-sibuk dalam lalu-lintas kombinasi dengan persen komposisi dan persen tikungan yang diketahui; bagilah dengan faktor jam-sibuk; konversikan ke volume desain kendaraan penumpang yang berjalan-lurus per-jam, menggunakan koefisien perkiraan seperti diperlihatkan pada Contoh 3.
3. Untuk setiap cabang persimpangan, hitunglah perbandingan q/q_s . Untuk tiap jalan, pilihlah nilai q/q_s yang lebih besar untuk desain. Jika q dan q_s dihitung per lajur bukan per persimpangan, pilihlah perbandingan q/q_s lajur kritis, mengikuti prosedur yang sama.
4. Hitunglah kedua periode antar hijau.
5. Hitung berapa kali setidaknya hijau menyala berdasarkan kebutuhan pejalan kaki.
6. Hitung C_{optimum} .
7. Pisahkan waktu hijau efektif yang tersedia di antara kedua fase.

8. Periksa apakah jumlah minimum menyalanya lampu hijau yang dibutuhkan oleh pejalan kaki telah memenuhi syarat. Jika tidak, lakukan penyesuaian dengan menaikkan nilai.
9. Buatlah tabel yang memuat seluruh lama menyalanya lampu lalu-lintas, berdasarkan aturan berikut:
 - (a) Panjang minimum dari menyalanya lampu hijau adalah 15 detik.
 - (b) Panjang siklus harus disesuaikan ke panjang lebih-tinggi terdekat yang habis dibagi 5 (jika $C < 90$ detik) atau 10 (jika $C > 90$ detik). Distribusikan kembali waktu hijau tambahan sebagaimana diuraikan sebelumnya.
 - (c) Seluruh interval harus merupakan titik persentase bilangan bulat dari panjang siklusnya.

Contoh 4

Suatu persimpangan empat kaki sederhana membutuhkan sebuah lampu lalu-lintas waktu-tetap. Arus kritis pada arah utara-selatan adalah 600 kendaraan/jam dan pada arah timur-barat adalah 400 kendaraan/jam. Arus jenuh adalah 1.800 kendaraan/jam dan waktu yang hilang per fasenya diamati sebesar 1,2 detik. Tentukan panjang siklus dan distribusi dari lampu hijau (lihat Gambar 8-E4).

Jawaban

Diasumsikan periode kuning adalah 4 detik.

$$Y_i = \frac{\text{ arus diamati }}{\text{ arus jenuh }}$$

$$Y_1 = \frac{600}{1800} = 0,333 \quad Y_2 = \frac{400}{1800} = 0,22$$

$$\Sigma Y_i = 0,333 + 0,222 = 0,555$$

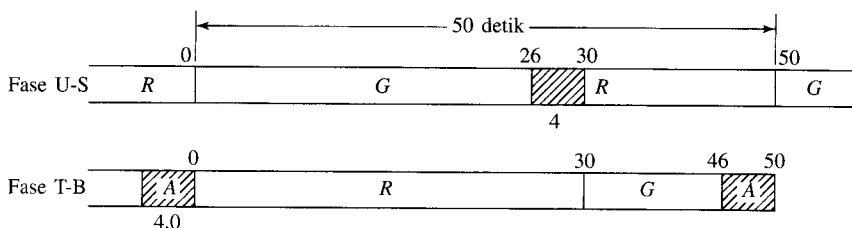
$$C_0 = \frac{1,5L + 5,0}{1 - \Sigma Y_i} = \frac{1,5(2 \times 5,2) + 5}{1 - 0,555} = \frac{20,6}{0,445} = 46,3 \text{ detik}$$

Gunakan $C_0 = 50$ detik.

$$\begin{aligned} G &= C_0 - A_1 - A_2 - nl \\ &= 50 - 4 - 4 - 2(1,2) = 39,6 \text{ detik} \end{aligned}$$

$$\Sigma \text{ volume lajur kritis} = 600 + 400 = 1.000$$

$$G_{N-S} = \frac{600(39,6)}{1000} = 23,67$$



Gambar 8-E4 Diagram Fase untuk Contoh 4.

$$G_{E-w} = \frac{400(39,6)}{1000} = 15,84$$

$$\begin{aligned} \text{Fase}_{U-S} &= \text{lampu hijau} + \text{lampu kuning} + \text{waktu yang hilang} \\ &= 23,76 + 4 + 1,2 = 28,96 \text{ detik} \approx 20 \text{ detik} \end{aligned}$$

$$\text{Fase}_{T-B} = 15,84 + 4 + 1,2 = 21,04 \text{ detik} \approx 20 \text{ detik}$$

$$\text{Panjang siklus} = 30 + 20 = 50 \text{ detik}$$

Contoh 5

Suatu persimpangan, seperti ditunjukkan pada Gambar 8-E5, hendak dibangun dengan karakteristik: operasi lima-fase, waktu hijau minimum (G) 7 detik, lampu kuning 4 detik dan waktu minimum lampu “dilarang berjalan” sama dengan waktu yang dibutuhkan untuk berjalan dari kerb (*curb*) jalan ke pusat lajur jalan terjauh pada kecepatan 4 ft/detik.

Asumsi: panjang kendaraan rata-rata 20 ft; headway arus jenuh rata-rata 2,1 detik; pola kedatangan acak. Gunakan rumus Australia yang akan diperlihatkan berikut ini.

Jawaban

1. Rumus siklus optimum Webster

$$C_0 = \frac{1,5L + 5}{1 - Y}$$

di mana

C_0 = siklus optimum untuk mengurangi penundaan (detik)

Y = arus/volume jenuh untuk kaki persimpangan kritis di setiap fase

L = total waktu/siklus yang hilang, umumnya adalah jumlah dari total waktu perpindahan kuning dan merah-seluruhnya per siklus (detik)

2. Rumus faktor tikungan-kiri Australian (LT)

$$EL = \frac{1,5}{\frac{f n S G}{G n S - Q} - \frac{f Q C}{G n S - Q} + \frac{4,5}{G}} \quad (12)$$

di mana

EL = faktor untuk mengkonversi kendaraan LT (*left turn*, belok ke kiri) yang tidak dilindungi ke satuan kendaraan penumpang yang ekuivalen.

S = arus jenuh (kendaraan/jam/lajur)

$$= 3.600/\text{headway rata-rata}$$

C = panjang siklus (detik)

n = jumlah lajur berlawanan-arrah

G = waktu hijau efektif (detik), didefinisikan sebagai waktu hijau + kuning untuk satu fase, dikurangi rugi akibat mulai dan berhenti.

Q = aliran kendaraan dari arah yang berlawanan yang bergerak lurus dan menikung ke kanan (PCU/jam).

3. *Perhitungan siklus-minimum*: Dengan asumsi aktivitas pejalan kaki cukup signifikan, panjang siklus-minimum akan dikontrol oleh sejumlah minimum pengaturan waktu-waktu untuk fase 1 + 2 + 4 atau oleh fase 5 + 6 + 4.

$$\text{Fase 1} = 7 \text{ detik,} \quad G + 4 \text{ detik, } A = 11 \text{ detik}$$

$$\text{Fase 2} = 7 \text{ detik,} \quad W + 52/4 \text{ FDW} = 20 \text{ detik}$$

$$\text{Fase 4} = 7 \text{ detik,} \quad W + 64/4 \text{ FDW} = 23 \text{ detik}$$

$$\text{Total} = 54 \text{ detik}$$

Waktu total untuk fase-fase 5, 6, dan 4 akan sama.

4. *Siklus optimum*: Ubahlah volume-volume jalan ke satuan padanan kendaraan-penumpang (PCU). Idealnya, faktor konversi harus ditentukan dari pengukuran lapangan. Namun, untuk kasus ini, faktor-faktor berikut telah diasumsikan:

Kendaraan penumpang yang berjalan lurus melintasi persimpangan: 1,0 PCU

Kendaraan penumpang LT selama fase yang terlindungi: 1,1 PCU

Kendaraan penumpang RT (*right turn*) dengan radius menikung 25 ft: 1,1 PCU

Kendaraan penumpang RT dengan radius menikung < 25 ft: 1,3 PCU

Truk atau bis: 1,5 PCU

Jumlah kendaraan penumpang LT selama fase yang diperbolehkan sama dengan nilai yang diperoleh dari rumus Australia. Untuk contoh ini, $S = 1.714$, siklus 90 detik, dan waktu hijau efektif 30 detik untuk fase 4 telah diasumsikan, yang menghasilkan suatu faktor sebesar 2,38 PCU untuk kaki persimpangan sebelah utara dan 2,61 PCU untuk kaki persimpangan selatan. Menggunakan faktor-faktor ini untuk volume lalu-lintas akan menghasilkan volume-volume padanan kendaraan penumpang berikut:

Kaki Persimpangan	Menikung ke kiri	Berjalan lurus	Menikung ke kanan
Barat	231	945	116
Timur	173	525	173
Utara	244	308	113
Selatan	401	256	133

Menggunakan volume-volume kaki-persimpangan tersebut untuk konfigurasi lajur persimpangan akan menghasilkan volume-volume per-jam berikut ini:

Kaki Persimpangan	Lajur	Fase	Pergerakan	Volume
Barat	A	1	1	231
Barat	B	6	6	$(945 + 116)/2 = 530$
Barat	C	6	6	$(945 + 116)/2 = 531$
Selatan	D	4	4	401
Selatan	E	4	4	$(256 + 133) = 389$
Timur	F	5	5	173
Timur	G	2	2	$(525 + 173)/2 = 349$
Timur	H	2	2	$(525 + 173)/2 = 349$
Utara	I	4	8	244
Utara	J	4	8	421

Panjang siklus akan dikendalikan oleh volume lajur kritis untuk gabungan fase (1 + 2 + 4) atau (5 + 6 + 4).

Fase 1 lajur A	= 231
Fase 2 lajur G atau H	= 349
Fase 4 lajur D	= 401
Total	= 981
Fase 5 lajur F	= 173
Fase 6 lajur B atau C	= 530
Fase 4 lajur D	= 401
Total	= 1.104

Fase (5 + 6 + 4) akan mengendalikan panjang siklus. Perbandingan (rasio) arus-arus kritis terhadap arus jenuh sekarang dapat dihitung:

$$Y = \frac{\text{total arus kritis}}{\text{arus jenuh}} = \frac{1104}{1714} = 0,644$$

Waktu-yang-hilang per siklus sekarang dapat dihitung. Waktu-yang-hilang terdiri dari waktu-yang-hilang selama mulainya antrian dan waktu-yang-hilang selama proses selesainya fase. Waktu-yang-hilang selama mulainya antrian bervariasi tergantung panjang antrian, seperti berikut ini:

Antrian (PCU)	Waktu-yang-hilang saat antrian dimulai
1	1,7
2	2,7
3	3,3
4	3,6
5	3,7
6	3,7

Dengan mengasumsikan bahwa siklusnya 90 detik, pemisahan berbanding lurus dengan volume lajur kritis, dan tingkat kedatangan seragam, maka panjang antrian rata-rata dapat dihitung. Tingkat kedatangan rata-rata (g):

Fase 5: $173 \text{ kendaraan/lajur/jam} = 0,048 \text{ kendaraan/lajur/detik}$

Fase 6: $530 \text{ kendaraan/lajur/jam} = 0,147 \text{ kendaraan/lajur/detik}$

Fase 4: $401 \text{ kendaraan/lajur/jam} = 0,111 \text{ kendaraan/lajur/detik}$

Waktu lampu merah (R):

Fase 5: $[(1.104 - 173)/1.104] \times 90 = 76 \text{ detik}$

Fase 6: $[(1.104 - 530)/1.104] \times 90 = 47 \text{ detik}$

Fase 4: $[(1.104 - 401)/1.104] \times 90 = 57 \text{ detik}$

Panjang antrian rata-rata ($g \times R$):

Fase 5: $0,048 \times 76 = 3,6 \text{ kendaraan}$

Fase 6: $0,147 \times 47 = 6,9 \text{ kendaraan}$

Fase 4: $0,111 \times 57 = 6,3 \text{ kendaraan}$

Kehilangan waktu pada akhir-fase meliputi waktu yang digunakan ketika kendaraan terakhir di dalam antrian melintas dari tanda berhenti ke suatu titik yang aman di luar pergerakan antrian kendaraan berikutnya. Diasumsikan bahwa kendaraan-kendaraan ini bergerak dengan kecepatan persimpangan, kecuali untuk kendaraan-kendaraan fase LT, (fase 5), yang mempunyai kecepatan 15 mil/jam.

$$\text{Fase 5: } (50 + 20)/22 = 3,2 \text{ detik}$$

$$\text{Fase 6: } (60 + 20)/44 = 1,8 \text{ detik}$$

$$\text{Fase 4: } (75 + 20)/29 = 3,3 \text{ detik}$$

Gabungan hilangnya waktu akibat awal dan akhir fase adalah:

$$\text{Fase 5: } 3,6 + 3,2 = 6,8 \text{ detik}$$

$$\text{Fase 6: } 3,7 + 1,8 = 5,5 \text{ detik}$$

$$\text{Fase 4: } 3,7 + 3,3 = 7,0 \text{ detik}$$

$$\text{Total} = 19,3 \text{ detik} = L$$

Siklus optimum untuk memperkecil penundaan:

$$C_0 = \frac{15L + 5}{1 - Y} = \frac{(1,5 \times 19,3) + 5}{1 - 0,6,44} = 95 \text{ detik}$$

Pemisahan-pemisahannya adalah sebagai berikut:

$$\text{Fase 5: } (173/1.104) \times 95 = 15 \text{ detik}(G + A)$$

$$\text{Fase 6: } (530/1.104) \times 95 = 46 \text{ detik}(G + A)$$

$$\text{Fase 4: } (401/1.104) \times 95 = 34 \text{ detik}(G + A)$$

Berdasarkan siklus waktu 95 detik dan $G = 27$ detik ($34 - 7$ kehilangan) untuk fase 4, maka faktor padanan kendaraan untuk kaki persimpangan bagian selatan sebesar 2,71 PCU menghasilkan volume kritis untuk lajur D sebesar 417 kendaraan/jam. Penyesuaian perhitungan untuk volume ini menghasilkan siklus optimum sebesar 98 detik. Pemisahan-pemisahan akhirnya adalah:

$$\text{Fase 1: } 25 \text{ detik} \quad \text{Fase 5: } 15 \text{ detik}$$

$$\text{Fase 2: } 37 \text{ detik} \quad \text{Fase 6: } 47 \text{ detik}$$

$$\text{Fase 4: } 36 \text{ detik} \quad \text{Fase 4: } 36 \text{ detik}$$

Berdasarkan pemisahan-pemisahan ini dan panjang siklus, maka analisis kapasitas akan menghasilkan nilai-nilai tingkat pelayanan yang dapat digunakan untuk mengevaluasi strategi fase alternatif. Nilai Y yang ditentukan di dalam analisis "Webster" berhubungan dengan rasio volume/kapasitas dan tingkat pelayanan. Suatu nilai Y yang lebih rendah atau sama dengan 0,70 mengindikasikan tingkat pelayanan C atau yang lebih baik. Suatu nilai Y yang lebih besar dari 0,70 mengindikasikan tingkat pelayanan D atau yang lebih buruk. Kapan pun Y melebihi 0,70, maka masalah kapasitas yang serius akan terjadi dan pengukuran harus dilakukan untuk meningkatkan kapasitas.

Panjang siklus optimum juga berhubungan dengan tingkat pelayanan, meskipun korelasi ini tidak seakurat dengan yang ditunjukkan oleh Y . Aturan umumnya adalah jika perhitungan siklus optimum menghasilkan panjang siklus lebih dari 0,75 detik untuk dua fase kritis, dan 100 detik untuk tiga fase kritis atau 140 detik untuk empat fase kritis, maka persimpangan membutuhkan studi yang lebih mendalam dan harus dilakukan pengukuran lebih lanjut untuk meningkatkan kapasitas.

Dengan mengasumsikan persimpangan percontohan sebagai kondisi dasar, beberapa alternatif lainnya telah diselidiki dalam upaya untuk meningkatkan kapasitas. Tiap kasus dapat diidentifikasi sebagai berikut:

- *Kasus 1*: persimpangan percontohan, operasi lima fase.
- *Kasus 2*: persimpangan percontohan, operasi lima fase, ditambah lajur belok-kanan pada cabang persimpangan barat.
- *Kasus 3*: persimpangan percontohan, operasi pemisahan sisi jalan enam fase.
- *Kasus 4*: persimpangan percontohan, operasi pemisahan sisi jalan (*split side street operation*) enam fase, ditambah lajur belok-kanan pada cabang persimpangan barat.
- *Kasus 5*: persimpangan percontohan, operasi pemisahan sisi jalan enam fase, ditambah lajur belok-kanan pada cabang persimpangan barat, sisi jalan yang diperlebar untuk menyediakan lajur belok-kiri dan dua lajur lurus.
- *Kasus 6*: persimpangan percontohan, operasi delapan fase, ditambah lajur tikungan ke kanan pada sisi persimpangan barat, lebar jalan yang ditingkatkan untuk menyediakan lajur tikungan ke kiri dan dua lajur lurus.

Hasil untuk tiap pengamatan adalah sebagai berikut:

Kasus	Fase-fase Pengendali	Fase-fase Kritis	Siklus Minimum (detik)	Siklus Optimum (detik)	Y
1	5	3	54	98	0,65
2	5	3	57	89	0,62
3	6	4	77	164	0,73
4	6	4	80	143	0,69
5	6	4	83	114	0,61
6	8	4	71	111	0,60

Kasus 1,2, 5, dan 6 perlu dipertimbangkan agar persimpangan dapat ditingkatkan efisiensinya. Kasus 3 dan 4 dapat dipandang sebagai alternatif yang tidak layak untuk digunakan.

7.5.6 Metode Pignataro Berikut ini adalah sebuah metode alternatif untuk merancang siklus lampu lalu-lintas empat-cabang dua-fase, sebagaimana diungkapkan oleh Pignataro (1973). Dengan mengacu kepada definisi tentang PHF dan headway, diasumsikanlah hal-hal sebagai berikut:

- N_1 = arus lajur kritis jalan utama, jumlah kendaraan di dalam sebuah lajur, di mana N_1 adalah arus lajur terbesar dari kedua jalan menuju persimpangan utama
- N_2 = arus lajur kritis jalan biasa, sama dengan N_1
- C = panjang siklus (detik)
- S_1 = perkiraan headway rata-rata saat memasuki persimpangan di antara N_1
- S_2 = headway rata-rata yang berhubungan di antara N_2
- Y_1 = interval perpindahan kendaraan untuk N_1 (detik)
- Y_2 = interval perpindahan kendaraan untuk N_2 (detik)
- K = jumlah siklus lampu lalu-lintas untuk periode 15-menit

Maka waktu total yang dibutuhkan untuk melewati seluruh kendaraan melalui persimpangan selama periode 15 menit adalah:

$$T = \frac{N_1 S_1 + N_2 S_2}{4(PHF)} \quad (13)$$

dan waktu total yang dibutuhkan untuk interval perpindahan adalah:

$$K(Y_1 + Y_2) \quad (14)$$

Dengan demikian,

$$T + K(Y_1 + Y_2) \leq 15 \text{ menit} \times 60 = 900 \text{ detik} \quad (15)$$

atau, dalam kondisi batas,

$$K = \frac{900 - T}{Y_1 + Y_2} \quad (16)$$

Tetapi,

$$K = \frac{900}{C} \quad (17)$$

Dengan substitusi Persamaan (13) dan (17) ke dalam Persamaan (16), kita memperoleh:

$$C_{\text{menit}} = \frac{Y_1 + Y_2}{1 - (N_1 S_1 + N_2 S_2)/3600(PHF)} \quad (18)$$

atau dalam kasus umum ketika terdapat tiga fase atau lebih,

$$C_{\text{menit}} = \frac{\sum Y_i}{1 - \sum N_i S_i / 3600(PHF)} \quad (19)$$

Persamaan (18) dapat dimodifikasi lebih jauh untuk mencerminkan fase pejalan kaki eksklusif sebagai berikut:

$$C = \frac{Y_1 + Y_2 + P + Y_p}{1 - 0,000333(N_1 S_1 + N_2 S_2)} \quad (20)$$

di mana P adalah panjang dari interval “berjalan” pejalan-kaki (detik), dan Y_p adalah panjang dari interval perpindahan pejalan-kaki (detik).

Dengan mengasumsikan bahwa headway (pengaturan-waktu rata-rata) antar kendaraan di persimpangan utama dan persimpangan biasa kurang lebih sama, maka alokasi waktu hijau dibuat berbanding lurus dengan volume lajur kritis. Dengan demikian,

$$G_1 + G_2 = C - (Y_1 + Y_2) \quad (21)$$

dan

$$G_1 = \frac{N_1}{N_1 + N_2} [C - (Y_1 + Y_2)] = \frac{C - (Y_1 + Y_2)}{1 + N_2/N_1} \quad (22)$$

dan

$$G_2 = C - (Y_1 + Y_2) - G_1 \quad (23)$$

Untuk persimpangan-persimpangan di mana S_1 dan S_2 (headway-headway pada jalan utama dan jalan biasa) diasumsikan tidak sama, harus dialokasikan waktu hijau di dalam rasio dari hasil kali antara arus lajur kritis dan headway-headwaynya masing-masing:

$$\frac{G_1}{G_2} = \frac{N_1 S_1}{N_2 S_2} \quad (24)$$

Contoh 6

Sebuah persimpangan terisolasi dari Pine Street dan Oak Street membutuhkan lampu lalu lintas dua fase sederhana. Berikut ini adalah data yang tersedia:

Pine street: lebar 56 ft, volume lajur kritis = 300 kendaraan/jam, kecepatan mendekati persimpangan 40 mil/jam.

Oak street lebar 40 ft, volume lajur kritis = 225 kendaraan/jam, kecepatan mendekati persimpangan 25 mil/jam.

Truk 10% dan tikungan ke kiri 15%, PHF = 0,85.

Kecepatan pejalan kaki = 4 ft/detik.

Jawaban

Lihat Gambar 8-E6.

1. Tentukan volume-volume lajur kritis yang disesuaikan: faktor truk 1,5; LT 1,6
 Pine street: $0,15(1,6)(300) + 0,10(1,5)(300) + 0,75(1)(300) = 342$ kendaraan/jam
 Oak street: $0,15(1,6)(225) + 0,10(1,5)(225) + 0,75(1)(225) = 257$ kendaraan/jam
2. Tentukan interval-interval perpindahan kendaraan (waktu-waktu non-dilema).

$$Y = t + \frac{v}{2a} + \frac{W + l}{v}$$

di mana

$$t = 1 \text{ detik}$$

$$a = 10 \text{ ft/detik}^2$$

$$l = 20 \text{ ft}$$

$$\text{Pine street (melintasi Oak Street): } Y = 1 + 58,7/20 + (40 + 20)/58,7 = 4,96 \text{ detik (ambil, 5,0 detik)}$$

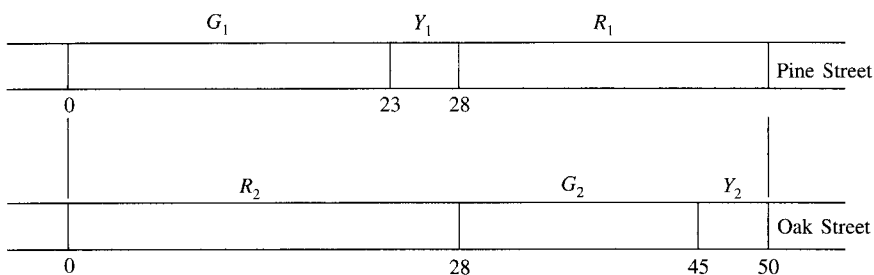
$$\text{Oak street (melintasi Pine Street): } Y = 1 + 36,7/20 + (56 + 200)/36,7 = 4,91 \text{ detik (ambil, 5,0 detik)}$$

3. Tentukan waktu-waktu menyeberangi jalan untuk pejalan kaki:

$$\text{Menyebrangi Oak Street: } 7 + 40/4 - 5 = 12 \text{ detik} = G_1$$

$$\text{Menyebrangi Pine Street: } 7 + 56/4 - 5 = 16 \text{ detik} = G_2$$

di mana 7 detik diasumsikan sebagai waktu awal pejalan kaki.



Gambar 8-E6 Metoda Pignataro.

4. Tentukan perkiraan panjang siklus, berdasarkan pertimbangan kendaraan (PHF = 0,85 dan $S_1 = S_2 = 2,5$ detik):

$$C_{\min} = \frac{Y_1 + Y_2}{1 - (N_1 S_1 + N_2 S_2)/3600(\text{PHF})}$$

$$= \frac{4,96 + 4,91}{1 - (342 \times 2,5 + 257 \times 2,5)/(3600 \times 0,85)} = 19,3 \text{ detik}$$

Berdasarkan kebutuhan pejalan kaki:

$$C_{\min} = G_1 + G_2 + Y_1 + Y_2 = 12 + 16 + 4,96 + 4,91 = 38 \text{ detik}$$

(Ini adalah nilai pengendalinya)

5. Pisahkanlah siklus:

$$G_1 = \frac{C - (Y_1 + Y_2)}{1 + N_2/N_1} = \frac{38 - (4,96 + 4,91)}{1 + 257/342} = 16 \text{ detik}$$

$$G_2 = \frac{C - (Y_1 + Y_2)}{1 + N_1/N_2} = \frac{38 - (4,96 + 4,91)}{1 + 342/257} = 12 \text{ detik}$$

6. Tentukan panjang siklus:

$C = 16 + 16 + 5 + 5 = 42$ detik (dapat dibulatkan menjadi 45 detik, memberikan tambahan 2 detik untuk Pine Street dan 1 detik untuk Oak Street).

$$C = 18 + 17 + 5 + 5 = 45 \text{ detik}$$

7. Periksa kebutuhan 15-menit puncak untuk tiap fase.

WAKTU HIJAU YANG DIPERLUKAN	WAKTU HIJAU YANG TERSEDIA
$\frac{342}{4(0,85)} \times 2,5 = 251 \text{ detik}$	$\frac{900}{45} \times 18 = 360 \text{ detik}$
$\frac{257}{4(0,85)} \times 2,5 = 189 \text{ detik}$	$\frac{900}{45} \times 17 = 340 \text{ detik}$

7.6 Lampu Lalu-lintas yang Diaktusi oleh Lalu-lintas

Keberhasilan lampu lalu-lintas dengan siklus yang tetap tergantung pada seberapa bersesuaiannya volume-volume lalu-lintas aktual dengan tingkat-tingkat arus desain yang ada di proses desain yang sudah dibahas sebelumnya. Satu waktu siklus tunggal dan satu set tunggal lampu hijau akan sulit untuk mewakili keseluruhan periode 24-jam, mengingat fluktuatifnya volume lalu-lintas tiap jam. Problem ini dapat dipecahkan sebagian dengan merancang beberapa skema siklus-tetap untuk suatu persimpangan, di mana masing-masing dibuat berdasarkan arus lalu-lintas yang ada selama bagian hari bersangkutan.

Lampu lalu-lintas yang diaktusi oleh lalu-lintas (Mitríc, 1975) adalah suatu perluasan dari gagasan yang telah diuraikan: membuat waktu siklus dan pemisahan lampu hijau responsif terhadap perubahan arus lalu-lintas, bahkan hingga ke tingkat perubahan skala-mikro. Dengan kata lain, lama menyalanya lampu hijau dapat diubah-ubah tergantung pada jumlah kendaraan yang tiba di persimpangan.

Jenis paling sederhana dari lampu lalu-lintas yang diaktuator lalu-lintas memiliki alat pendeteksi yang diletakkan pada jarak sejauh A dari garis berhenti di persimpangan, dan suatu alat pengendali yang sensitif terhadap sinyal yang dikirimkan oleh alat pendeteksi. Di awal fase hijau, jumlah maksimum kendaraan yang “ditangkap” di antara garis berhenti dan alat pendeteksi (termasuk kendaraan yang berhenti tepat di atas alat pendeteksi) dinyatakan dengan:

$$\frac{A}{l + S_0} + 1 \quad (25)$$

di mana l adalah panjang kendaraan rata-rata, dan S_0 adalah jarak antara titik-titik terdekat dari dua kendaraan yang berhenti. Waktu lampu hijau maksimum untuk cabang persimpangan ini adalah:

$$G_{\min} = t_{sd} + \left(\frac{A}{l + S_0} + 1 \right) \frac{1}{q_s} \quad (26)$$

di mana

q_s = arus jenuh (kendaraan penumpang/jam)

t_{sd} = penundaan awal

Memori dari alat pengendali mulai bekerja pada posisi “kosong” pada setiap fase hijau. Jika di dalam $G_{\min}$ detik alat ini tidak menerima “panggilan” dari alat pendeteksi, yang menandai adanya kendaraan lain yang datang, maka fase hijau dapat dipindahkan ke fase berikutnya. Namun untuk tiap panggilan, alat pengendali akan memperpanjang waktu hijau sebesar suatu interval waktu yang tetap, yang disebut *satuan perpanjangan (unit extension)* dari hijau, dihitung dari saat terjadinya panggilan. Satuan perpanjangan tersebut harus cukup panjang untuk memungkinkan suatu kendaraan untuk menempuh jarak dari alat pendeteksi ke garis berhenti dengan bergerak pada kecepatan tertentu menuju persimpangan, v :

$$h = A/v \quad (27)$$

di mana h adalah satuan perpanjangan dari hijau (juga disebut interval kendaraan). Perlu dicatat bahwa untuk setiap panggilan yang diterima oleh pengendali, waktu lampu hijau diperpanjang h detik, diukur dari saat ketika kendaraan itu terdeteksi. Dengan kata lain, tidak terdapat pengakumulasian waktu hijau yang tidak berguna. Dengan demikian, kendaraan yang satu dengan yang di belakangnya mungkin terpisah tidak lebih dari h detik untuk menjaga agar lampu tetap hijau ketika mendekati persimpangan. Karena digunakan interval h untuk menentukan apakah lampu hijau akan diperpanjang atau dihentikan pada suatu cabang persimpangan, interval ini sering disebut dengan *headway kritis*. Penting untuk dicatat bahwa headway kritis dan satuan perpanjangan lampu hijau adalah sama.

Jika kendaraan tetap saling mengikuti satu sama lain dengan headway yang lebih pendek atau sama dengan satuan perpanjangan, waktu hijau untuk cabang persimpangan ini akan berakhir hanya jika waktu ini mencapai suatu nilai maksimum yang telah ditentukan sebelumnya berdasarkan penundaan maksimum pada setiap kendaraan di cabang persimpangan yang lain atau berdasarkan suatu kriteria berbasis-penundaan lain. Jika seluruh cabang persimpangan telah jenuh, maka lampu lalu-lintas yang diaktuator oleh lalu-lintas akan beroperasi dengan siklus tetap. Satuan perpanjangan jelas merupakan parameter terpenting dalam desain lampu lalu-lintas yang diaktuator lalu-lintas, dan pertanyaannya adalah: berapa lama satuan perpanjangan ini harus berlangsung?

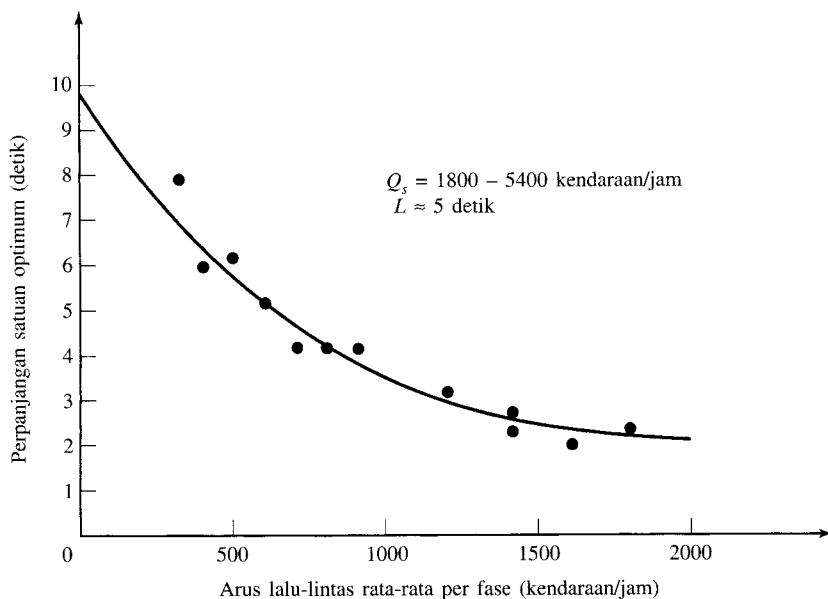
Pertimbangan keselamatan menentukan bahwa alat pendeteksi diletakkan tidak boleh terlalu dekat dengan jarak berhenti aman di depan garis berhenti. Ini menyiratkan panjang minimum satuan perpanjangan sebesar:

$$h_{\min} = \frac{S_{\text{safe}}}{v} \quad (28)$$

Di atas nilai minimum ini, panjang satuan perpanjangan tergantung pada tingkat kedatangan lalu-lintas. Sebagaimana lampu lalu-lintas waktu-tetap, panjang ini dapat dipilih dengan mengacu pada penundaan rata-rata atau banyaknya titik berhenti. Secara intuitif, harus digunakan satuan perpanjangan yang lebih pendek ketika tingkat kedatangan relatif tinggi, demikian pula sebaliknya. Hasil percobaan menunjukkan bahwa satuan perpanjangan (pengurangan penundaan-rata-rata) optimal berkisar dari 2 sampai 8 detik, sebagai fungsi dari arus lalu-lintas rata-rata per fase. Ini diilustrasikan pada Gambar 8-10.

Oleh karena itu, lampu lalu-lintas diaktuatori-lalu-lintas sederhana mempunyai beberapa kelemahan yang sama dengan lampu lalu-lintas waktu-tetap. Lampu lalu-lintas yang diaktuatori lalu-lintas akan bekerja dengan baik apabila arus lalu-lintas aktualnya sesuai dengan arus yang diasumsikan ketika satuan perpanjangan lampu hijau tersebut telah dipilih. Peningkatan yang mungkin dilakukan adalah dengan merancang lampu lalu-lintas yang diaktuatori lalu-lintas dengan satuan perpanjangan yang dapat divariasikan, berdasarkan waktu hijau dan/atau perubahan tingkat arus. Peningkatan semacam ini dalam kenyataannya operasional.

7.6.1 Pengaturan Waktu dari Lampu Lalu-Lintas yang Diaktuatori Lalu-Lintas Untuk persimpangan “terisolasi” (sejauh 0,5 mil atau lebih dari persimpangan dengan lampu lalu-lintas yang terdekat) yang mengalami fluktuasi-fluktuasi arus yang tajam dalam sehari, prosedur berikut dapat dipakai (Mitric, 1975):



Gambar 8-10 Arus lalu-lintas Rata-rata per Fase versus Perpanjangan Satuan Optimum.

1. Untuk cabang persimpangan tertentu, pilihlah headway (h) antar kendaraan yang tepat cukup besar untuk menjaga agar lampu tetap hijau. Ini biasanya terletak pada interval antara 2 sampai 5 detik. Headway ini sama dengan satuan perpanjangan lampu hijau per kendaraan.
2. Hitunglah jarak, A , melawan-arus dari garis berhenti di mana alat pendeteksi akan diletakkan, dengan rumus:

$$A = v \times h \text{ (ft)} \quad (29)$$

di mana v adalah kecepatan kendaraan mendekati persimpangan (kaki/detik), dan h adalah headway dari tahap satu di atas (detik). Ini berarti bahwa h detik setelah aktuasi ke- n lampu lalu-lintas akan berubah menjadi kuning tepat begitu kendaraan ke- n berada di atas garis berhenti, terkecuali aktuasi ke- $(n + 1)$ terjadi.

3. Hitunglah lama minimum lampu hijau menyala yang dapat melewati seluruh kendaraan yang mungkin terkumpul di antara garis berhenti dan alat pendeteksi, plus satu kendaraan.

$$G_{\min} = t_{sd} + \left(\frac{A}{l + S_0} + 1 \right) \left(\frac{3600}{q_s} \right) \quad (30)$$

di mana

t_{sd} = penundaan awal (detik)

A = jarak antara garis berhenti dan alat pendeteksi (ft)

l = panjang kendaraan (ft)

S_0 = jarak antara bagian belakang dan depan dari dua kendaraan yang beriringan (ft)

q_s = arus jenuh (kendaraan/jam)

4. Hitunglah elemen-elemen dari waktu-yang-hilang: antar-hijau (lampu kuning, merah seluruhnya) dan lampu kuning yang efektifnya digunakan sebagai lampu hijau, dengan cara seperti yang telah diuraikan sebelumnya.
5. Ulangi perhitungan untuk tiap cabang persimpangan; seluruh komponen dari siklus minimumnya sekarang telah siap.
6. Tentukan panjang siklus maksimum berikut pemisahan-pemisahan hijaunya dengan menggunakan rumus Webster untuk memperoleh siklus optimum, di mana nilai q harus merupakan arus desain maksimum yang dapat diperkirakan selama hari bersangkutan.

Asumsi: Alat pendeteksi adalah peranti paling sederhana tanpa dimensi longitudinal pada jalan tersebut. Alat ini hanya mencatat bahwa memang ada permintaan, bukan mencatat adanya satu, dua, atau lebih kendaraan yang menunggu.

Pejalan kaki yang menyeberang dapat mempengaruhi pengaturan waktu minimum menyalanya lampu hijau jika situasinya memang membutuhkan.

7.6.2 Otoritas untuk Instalasi Lampu Lalu-lintas Agar lampu pengendali lalu-lintas bisa betul-betul berguna, tanda-tanda yang ditunjukkannya harus mudah dipahami dan terlihat jelas. Untuk mencapai tujuan ini, lampu lalu-lintas harus seragam, otoritas untuk instalasinya harus kuat, dan kekuatan hukumnya jelas. Maka, standar nasional telah dikembangkan di berbagai negara untuk pemasangan dan pengoperasian lampu lalu-lintas, dan tindakan yang harus dilakukan oleh pengemudi dan pejalan kaki ditetapkan oleh hukum atau peraturan atau resolusi lokal tertentu yang konsisten dengan standar nasional. Sebagai contoh, undang-undang yang menetapkan otoritas pemasangan instalasi, makna dari tanda-tanda sinyal, dan

kewajiban untuk mematuhi tanda-tanda ini oleh pengguna jalan dimuat dalam dokumen-dokumen seperti *Uniform Vehicle Code*, *Model Traffic Ordinance*, dan peraturan kendaraan spesifik, di mana sebagai contohnya adalah Highway Traffic Act of Ontario.

7.6.3 Keuntungan dan Kerugian Ketika telah ditentukan dan dirancang dengan benar, pemasangan lampu lalu-lintas dapat mencapai keuntungan berikut ini:

- Mengurangi frekuensi tipe kecelakaan tertentu, khususnya kecelakaan tipe sudut kanan
- Menghasilkan pergerakan lalu-lintas yang teratur
- Menyediakan arus yang kontinu bagi iring-iringan kendaraan melalui koordinasi yang memadai pada kecepatan tertentu di rute tertentu
- Memungkinkan kendaraan dan pejalan kaki untuk melintasi lalu-lintas yang sangat ramai
- Pengendalian lalu-lintas menjadi lebih ekonomis dibandingkan metode manual

Lampu lalu-lintas yang tidak menentu, dirancang dengan buruk, dioperasikan seadanya, dan tidak dipelihara dengan baik akan mengakibatkan:

- Meningkatkan frekuensi kecelakaan
- Penundaan yang terlalu lama
- Pelanggaran lampu lalu-lintas
- Perjalanan memutar melalui rute alternatif

Berbeda dengan keyakinan pada umumnya, lampu lalu-lintas tidak selalu meningkatkan keselamatan dan mengurangi penundaan. Pengalaman membuktikan bahwa meskipun instalasi lampu lalu-lintas dapat menurunkan jumlah kecelakaan dari sisi kanan, tetapi dalam banyak kasus akan meningkatkan jumlah kecelakaan dari bagian belakang. Lebih jauh lagi, instalasi lampu lalu-lintas tidak hanya dapat meningkatkan penundaan secara keseluruhan, tetapi juga mengurangi kapasitas persimpangan. Konsekuensinya, hal yang paling penting adalah bahwa pertimbangan pemasangan lampu lalu-lintas dan pemilihan peralatannya harus dilakukan dengan pengamatan yang seksama terhadap kondisi lalu-lintas dan jalan oleh para insinyur yang telah terlatih dan berpengalaman. Para ahli ini harus menyadari bahwa lampu lalu-lintas harus dipasang hanya jika dampak keseluruhannya (keseimbangan antara keuntungan dan kerugiannya) menguntungkan masyarakat umum.

7.7 Kriteria Jaminan untuk Pengendalian Lampu Lalu-lintas

Karena sulitnya memutuskan kapan dan di mana lampu lalu-lintas harus dipasang, jelaslah bahwa dibutuhkan semacam sistem untuk mengetahui kebutuhan lampu lalu-lintas pada lokasi tertentu. Sistem seperti ini dibangun dengan menggunakan sebutan umum yang dikenal dengan *jaminan lampu lalu-lintas (signal warrant)*. Sejumlah jaminan lalu-lintas telah dikembangkan berdasarkan analisis yang cermat atas operasi lalu-lintas, kebutuhan pejalan kaki dan pengendara sepeda, dan faktor lainnya pada sejumlah besar persimpangan dengan dan tanpa lampu lalu-lintas. Delapan jaminan yang diuraikan secara ringkas di sini telah dibahas secara rinci di dalam *Manual on Uniform Traffic Control devices for Streets and Highways* (MUTCD; FHWA, 2000). Delapan jaminan tersebut harus dipertimbangkan lebih sebagai pedoman untuk menentukan kebutuhan lampu lalu-lintas ketimbang sebagai kriteria absolut, dan penggunaannya tergantung pada subjektivitas profesional berdasarkan pengalaman dan pertimbangan seluruh faktor yang berhubungan. Sebagai contoh, faktor tertentu seperti fitur fisik jalan, usia pejalan kaki, atau efek dari persimpangan yang menggunakan lampu lalu-lintas dapat mengubah suatu

keputusan yang tadinya didasarkan semata-mata pada jaminan saja. Pertimbangan harus diarahkan pada penyediaan alternatif-alternatif pengendalian lalu-lintas yang lain, bahkan sekalipun satu jaminan lalu-lintas atau lebih telah memuaskan. Alternatif dapat meliputi instalasi rambu berhenti, penempatan ulang garis berhenti atau membuat perubahan geometris pada persimpangan, instalasi lampu peringatan, atau penyediaan bundaran di dalam desain.

7.7.1 Jaminan 1: Volume Kendaraan 8-Jam Jaminan (*warrant*) kendaraan delapan jam akan dipenuhi ketika, untuk setiap sebarang delapan jam dari satu hari biasa, terdapat volume lalu-lintas yang diberikan pada kolom 100% dari kondisi A atau B pada Tabel 8-1 pada jalan utama dan pada cabang persimpangan jalan-biasa volume-tinggi. Volume-volume jalan-utama dan jalan-biasa tersebut berlaku untuk 8 jam yang sama. Selama setiap jam, yang dianggap adalah volume pada cabang persimpangan yang lebih tinggi, terlepas dari arahnya.

Kebutuhan akan lampu lalu-lintas harus dipertimbangkan pula jika hasil penelitian menjumpai bahwa, untuk setiap 8 jam dari suatu hari biasa, terdapat volume lalu-lintas yang diberikan pada kolom 80% dari kondisi A dan B pada Tabel 8-1 pada jalan utama dan pada jalan biasa dengan volume yang lebih tinggi ketika mendekati persimpangan. Volume jalan utama dan jalan biasa tersebut haruslah untuk 8 jam yang sama untuk tiap kondisi; namun 8 jam yang terpenuhi pada kondisi A tidak harus sama dengan 8 jam yang terpenuhi pada kondisi B. Selama setiap 8 jam tersebut, tidak perlu harus ada persyaratan volume tinggi di cabang yang sama dari jalan biasa.

Tabel 8-1 Jaminan 1, Volume Kendaraan Delapan-Jam

Kondisi A—Volume Kendaraan Minimum							
Jumlah lajur untuk Pergerakan Lalu-lintas di Tiap Cabang Persimpangan		Kendaraan per-jam di Jalan Utama (Total untuk Kedua Cabang Persimpangan)			Kendaraan per-jam pada Persimpangan Jalan Biasa dengan Volume yang Lebih Besar (Hanya Satu Arah)		
<i>Jalan Utama</i>	<i>Jalan Biasa</i>	100% ^a	80% ^b	70% ^c	100% ^a	80% ^b	70% ^c
1	1	500	400	350	150	120	105
2 atau lebih	1	600	480	420	150	120	105
2 atau lebih	2 atau lebih	600	480	420	200	160	140
1	2 atau lebih	500	400	350	200	160	140

Kondisi B—Gangguan pada Lalu-lintas Kontinu							
Jumlah Lajur untuk Pergerakan Lalu-lintas di Tiap Cabang Persimpangan		Kendaraan per-jam di Jalan Utama (Total untuk Kedua Cabang Persimpangan)			Kendaraan per-jam pada Persimpangan Jalan Biasa dengan Volume yang Lebih Besar (Hanya Satu Arah)		
<i>Jalan Utama</i>	<i>Jalan Biasa</i>	100% ^a	80% ^b	70% ^c	100% ^a	80% ^b	70% ^c
1	1	750	600	525	75	60	53
2 atau lebih	1	900	720	630	75	60	53
2 atau lebih	2 atau lebih	900	720	630	100	80	70
1	2 atau lebih	750	600	525	100	80	70

^a Volume minimum dasar per-jam

^b Digunakan untuk kombinasi Kondisi A dan B setelah percobaan yang memadai dari pengukuran perbaikan lainnya.

^c Mungkin digunakan ketika kecepatan di jalan utama melebihi 70 km/jam (40 mil/jam) atau di dalam komunitas terisolasi dengan populasi kurang dari 10.000 jiwa.

7.7.2 Jaminan 2: Volume Kendaraan 4-Jam Jaminan ini menggunakan volume 4 jam, bukan 8 jam seperti pada Jaminan 1. Jaminan ini menetapkan kurva-kurva yang merepresentasikan jumlah kendaraan per-jam pada jalan utama (kedua arah) dan pada cabang persimpangan jalan-biasa volume-tinggi (satu arah saja). Jaminan ini akan terpenuhi (untuk lokasi perkotaan) ketika, untuk tiap 4 jam dari suatu hari biasa, titik-titik yang diplot terletak di atas kurva untuk kombinasi lajur-lajur cabang persimpangan.

Persyaratan akan lebih rendah ketika batas kecepatan yang ditetapkan atau kecepatan persentil ke-85 dari lalu-lintas jalan utama melebihi 40 mil/jam, atau ketika persimpangan terletak di daerah pemukiman dari suatu komunitas terisolasi dengan jumlah populasi di bawah 10.000 jiwa. Pembahasan lebih rinci dapat dilihat pada *Manual of Uniform Control Devices* (MUTCD; FHWA, 2000).

7.7.3 Jaminan 3: Jam Sibuk Ini ditujukan untuk persimpangan di mana lalu-lintas jalan biasa (*minor street*) mengalami penundaan atau bahaya yang berlebihan ketika memasuki atau melintasi atau menyeberangi jalan utama. Jaminan 3 didasarkan pada kombinasi kritis antara volume jalan utama dan volume jalan menyilang selama setiap empat periode 15-menit berurutan selama jam sibuk dari suatu hari biasa. Untuk memenuhi jaminan ini, kriteria dalam salah satu dari antara kategori (a) dan (b) berikut harus terpenuhi.

- (a) Jika seluruh kondisi berikut terjadi untuk 1 jam yang sama (setiap empat periode 15 menit yang berurutan) dari satu hari biasa:
 - 1. Penundaan waktu berhenti total yang dialami oleh lalu-lintas pada satu jalan biasa (satu arah saja) yang dikendalikan oleh sebuah rambu berhenti sama dengan atau melebihi 5 kendaraan-jam untuk cabang persimpangan dua-lajur dan 4 kendaraan-jam untuk persimpangan satu-lajur, dan
 - 2. Volume pada cabang persimpangan jalan-biasa yang sama ini (satu arah saja) sama dengan atau melebihi 150 kendaraan/jam untuk cabang dua-lajur atau 100 kendaraan/jam untuk cabang satu-lajur, dan
 - 3. Total kendaraan yang memasuki persimpangan selama jam tersebut sama dengan atau melebihi 800 kendaraan/jam untuk persimpangan dengan empat atau lebih cabang atau 650 kendaraan/jam untuk persimpangan dengan tiga cabang.
- (b) Sejumlah kurva ditentukan untuk volume lalu-lintas pada jalan utama (total untuk kedua arah) dan jalan biasa yang volumenya lebih tinggi (kendaraan per-jam untuk satu arah). Lampu lalu-lintas mendapat jaminan pemasangan apabila volume-volume untuk 1 jam (setiap empat periode 15-menit yang berurutan) dari suatu hari biasa terletak di atas kurva untuk suatu kombinasi lajur-lajur cabang persimpangan. Pembahasan lebih rinci dapat dilihat pada MUTCD.

7.7.4 Jaminan 4: Volume Pejalan Kaki Jaminan 4 menggabungkan volume pejalan kaki dan jeda (*gap*) yang tersedia di dalam lalu-lintas kendaraan baik pada persimpangan atau pada lokasi midblok (*midblock*). Jaminan ini akan terpenuhi ketika, dalam suatu hari biasa, terdapat 100 pejalan kaki atau lebih untuk masing-masing dari setiap 4 jam, atau 190 pejalan kaki atau lebih dalam 1 jam perjalanan menyeberangi jalan utama. Nilai-nilai ini dapat berkurang sampai 50% ketika kebanyakan pejalan kaki menyeberang dengan kecepatan di bawah 4 ft/detik. Selain itu, selama periode ketika jumlah pejalan kaki ini terpenuhi, akan terdapat kurang dari 60 jeda (yang panjangnya cukup memadai untuk diseberangi pejalan kaki) per-jam. Persyaratan ini berlaku untuk tiap arah secara terpisah pada suatu jalan terbagi dengan median yang cukup lebar bagi pejalan kaki untuk menunggu (sebelum menyeberang jalan).

Lampu lalu-lintas mungkin saja tidak mendapat jaminan untuk dipasang jika lokasi yang diusulkan termasuk ke dalam sistem lampu lalu-lintas terkoordinasi yang memungkinkan kurang dari 60 jeda per-jam karena lampu lalu-lintas semacam ini dapat menyediakan jeda yang lebih sedikit tetapi lebih panjang bagi pejalan kaki untuk menyeberang dengan aman.

Jaminan ini berlaku hanya untuk lokasi-lokasi di mana persimpangan berlampu lalu-lintas terdekatnya mempunyai jarak lebih dari 300 ft, dan pemasangan baru yang diusulkan tidak berpengaruh pada arus lalu-lintas. Di lokasi-lokasi midblok, parkir di kerb sebaiknya dilarang setidaknya 100 ft sebelum garis penyeberangan dan setidaknya 20 ft sesudah garis tersebut. Lampu jalan mungkin perlu dipasang jika lokasi midblok digunakan di malam hari. Lampu lalu-lintas untuk pejalan kaki dapat dipasang di bawah jaminan ini dan harus menggunakan pengendali lampu lalu-lintas aktuasi-lalulintas dan alat pendeteksi pejalan kaki (tombol tekan). Jaminan ini beroperasi di dalam skema terkoordinasi jika sistem lampunya adalah sistem terkoordinasi.

7.7.5 Jaminan 5: Penyeberangan Sekolah Jaminan ini berhubungan dengan masalah khusus perihal anak-anak yang menyeberang jalan utama ketika menuju dan pulang dari sekolah, khususnya di dekat sekolah, dan dapat dikategorikan sebagai satu kasus khusus tentang jaminan volume pejalan kaki. Lampu lalu-lintas dapat ditempatkan di suatu lokasi penyeberangan menuju sekolah apabila studi lalu-lintas tentang frekuensi dan kecukupan jeda di dalam aliran lalu-lintas kendaraan, seperti jumlah dan ukuran kelompok anak sekolah yang menyeberang di lokasi itu, memperlihatkan bahwa jumlah jeda yang memadai dalam aliran lalu-lintas itu selama periode anak-anak menggunakan penyeberangan tersebut lebih kecil daripada lamanya waktu (menit) dalam periode yang sama dan terdapat setidaknya 20 anak selama jam penyeberangan tertinggi. Ukuran pengendalian lalu-lintas lainnya—yaitu rambu peringatan, lampu peringatan, zona batas kecepatan, petunjuk penyeberangan sekolah, atau penyeberangan tidak-sebidang—harus diperhitungkan sebelum memutuskan untuk memasang lampu lalu-lintas. Jaminan penyeberangan sekolah tidak dapat diberlakukan apabila jarak ke lampu lalu-lintas terdekat di sepanjang jalan utama kurang dari 300 ft, kecuali pengaturan lalu-lintas yang diusulkan tidak mengganggu pergerakan lalu-lintas.

7.7.6 Jaminan 6: Sistem Lampu Lalu-lintas yang Terkoordinasi Gerak maju di dalam suatu sistem lampu lalu-lintas yang terkoordinasi berhubungan dengan keinginan untuk menahan agar aliran kendaraan tetap berada dalam kelompok-kelompok kecil dan mungkin membutuhkan pemasangan lampu lalu-lintas di mana dibutuhkan. Jaminan ini berlaku ketika jarak antara lampu-lampu lalu-lintas begitu jauh sehingga lampu-lampu itu tidak dapat menyediakan ukuran kelompok dan batas kecepatan yang dibutuhkan pada suatu jalan satu-arah atau dua-arah. Menurut jaminan ini, pemasangan lampu lalu-lintas tidak perlu dilakukan jika jarak antara lampu lalu-lintas kurang dari 1.000 ft (300 m).

7.7.7 Jaminan 7: Pencegahan Kecelakaan Jaminan lampu lalu-lintas pencegah kecelakaan berlaku pada kondisi berikut ini:

- (a) Upaya yang sudah maksimal dalam bentuk peraturan yang lunak dan upaya pengawasan dan penegakan hukum telah gagal mengurangi frekuensi kecelakaan.
- (b) Telah terjadi lima kecelakaan atau lebih, dengan jenis yang sulit diatasi oleh lampu lalu-lintas biasa, dalam periode 12 bulan, di mana tiap kecelakaan memakan korban luka atau kerusakan kendaraan yang melampaui syarat yang berlaku untuk suatu kecelakaan yang dapat dilaporkan.
- (c) Terdapat jumlah kendaraan yang lebih kecil daripada 80% (kolom 80%) dari per-

syarat yang diuraikan pada Jaminan 1 atau terdapat jumlah pejalan kaki yang lebih kecil daripada 80% dari persyaratan yang diuraikan dalam Jaminan 4 (jaminan volume pejalan kaki).

7.7.8 Jaminan 8: Jaringan Jalan Jaminan ini menyadari bahwa koordinasi lampu lalu-lintas bisa bersifat dua dimensi. Artinya, pergerakan di sepanjang persimpangan jalan bisa saja sepenting pergerakan di jalan utama. Keduanya harus sama-sama dianggap sebagai jalur utama. Jaminan jaringan jalan akan berlaku ketika dua jalur utama atau lebih bertemu di sebuah persimpangan dan volume total kendaraan yang ada atau yang akan masuk minimal 1.000 kendaraan selama jam sibuk pada suatu hari kerja biasa dan mempunyai volume-volume kendaraan yang sudah diproyeksikan untuk 5 tahun, berdasarkan studi keteknikan, yang memenuhi salah satu atau lebih dari Jaminan 1, 2, dan 3 selama suatu hari kerja biasa. Kebutuhan akan lampu lalu-lintas juga harus dipertimbangkan apabila persimpangan memiliki volume total yang ada dan yang akan masuk setidaknya 1.000 kendaraan/jam untuk tiap 5 jam pada hari Sabtu atau Minggu.

Rute utama yang digunakan pada jaminan ini harus memiliki satu atau lebih karakteristik berikut:

1. Merupakan bagian dari sistem jalan atau jalan raya yang melayani jaringan jalan utama arus lalu-lintas yang lewat.
2. Meliputi jalan raya di pinggiran kota atau di luar kota yang mengelilingi, memasuki atau melintasi sebuah kota.
3. Merupakan jalur utama dalam suatu rencana resmi (seperti rencana jalan utama dalam studi mengenai lalu-lintas dan transportasi di daerah perkotaan).

7.8 Koordinasi Lampu Lalu-lintas

Dibutuhkan semacam koordinasi lampu lalu-lintas pada jalan-jalan utama yang memiliki sejumlah jalan yang saling bersimpangan agar kendaraan dapat melintas tanpa berhenti di setiap persimpangan. Lampu lalu-lintas dapat dikoordinasikan dalam beberapa cara, tetapi tiga teknik yang paling banyak dilakukan adalah sistem simultan, sistem alternatif, dan sistem progresif fleksibel.

1. *Sistem simultan*: Dalam teknik ini, seluruh lampu lalu-lintas di sepanjang bagian jalan yang dikoordinasi menampilkan aspek yang sama kepada aliran lalu-lintas yang sama pada waktu yang sama. Sistem ini mengurangi kapasitas dan cenderung untuk mendorong perjalanan dengan kecepatan yang melampaui batas agar kendaraan dapat melewati lampu lalu-lintas sebanyak mungkin. Sistem ini dapat diterapkan dengan baik jika blok-blok kotanya pendek. Apabila jumlah kendaraan yang berbelok tidak banyak, akan diperoleh keuntungan-keuntungan bagi pejalan kaki. Dapat digunakan juga semacam alat pengendali setempat yang aktif bila ada kendaraan yang lewat, tetapi sebuah pengontrol utama menjaga seluruh pengontrol lokal tetap selaras dan menerapkan waktu siklus yang sama.
2. *Sistem alternatif*: Dalam sistem ini lampu lalu-lintas alternatif atau kelompok lampu lalu-lintas menunjukkan tanda yang berlawanan pada waktu yang sama, yang berarti bahwa jika sebuah kendaraan melintasi jarak antara dua persimpangan dalam waktu setengah siklus, maka kendaraan tersebut tidak perlu berhenti. Waktu siklus harus sama untuk seluruh lampu lalu-lintas, sehingga kecepatan pergerakan selalu konstan.
3. *Sistem progresif*: Terdapat dua jenis sistem progresif yang digunakan. Dalam sistem progresif yang sederhana, berbagai muka sinyal yang mengendalikan suatu jalan,

menampilkan warna hijau sesuai dengan jadwal waktu untuk tetap menjaga agar iring-iringan kendaraan tetap dapat bergerak pada kecepatan yang telah direncanakan. Pada sistem progresif fleksibel, interval waktu pada lampu lalu-lintas dapat disesuaikan secara independen tergantung persyaratan lalu-lintas dan di mana warna hijau pada setiap lampu lalu-lintas dapat saja menyala secara independen pada saat yang akan memberikan efisiensi maksimum. Pengendali utama tetap menjaga pengendali lokal, yang bisa saja waktu-tetap atau diaktusi-kendaraan, agar tetap dalam harmoni.

7.8.1 Progresi Lampu Lalu-lintas Dua-Arah yang Seimbang Progresi satu-arah yang seimbang seringkali dibutuhkan pada jalan selama jam tidak-sibuk atau di sepanjang hari. Pada kasus-kasus seperti itu, dibutuhkan metode sederhana untuk memperoleh dua jalan dengan dua-arah yang terlebar. Metode Purdy (1967) adalah teknik semacam itu yang dapat digunakan untuk sejumlah persimpangan baru atau yang telah ada. Metode yang cepat dan mudah ini akan lebih mudah dipahami melalui contoh soal berikut.

Contoh 7

Rancanglah suatu progresi lampu lalu-lintas yang akan memberikan jalur tembus dua-arah serupa maksimum dengan data-data sebagai berikut: kecepatan 30 mil/jam = 44,1 ft/detik; siklus = 60 detik; jarak dalam ft: $AB = 800$, $AC = 1.800$, $AD = 2.300$, $AE = 2.900$, $AF = 4.100$; lampu hijau: $A = 60\%$, $B = 50\%$, $C = 70\%$, $D = 50\%$, $E = 60\%$, $F = 70\%$.

Jawaban

Cara yang paling mudah untuk menyusun data-data dan perhitungannya adalah dengan membuat tabel.

Jalur	Persimpangan					
	A	B	C	D	E	F
1	0	800	1800	2300	2900	4100
2	0%	30%	68%	87%	110%	155%
3	0	-20	+18	-13	+10	+5
4	60%	50%	70%	50%	60%	70%
5	30/-30	25/-25	35/-35	25/-25	30/-30	35/-35
6	30/-30	+5/-45	53/-17	12/-38	40/-20	40/-30
7	30/-30	+5/-45	+3/-67	12/-38	40/-20	40/-30

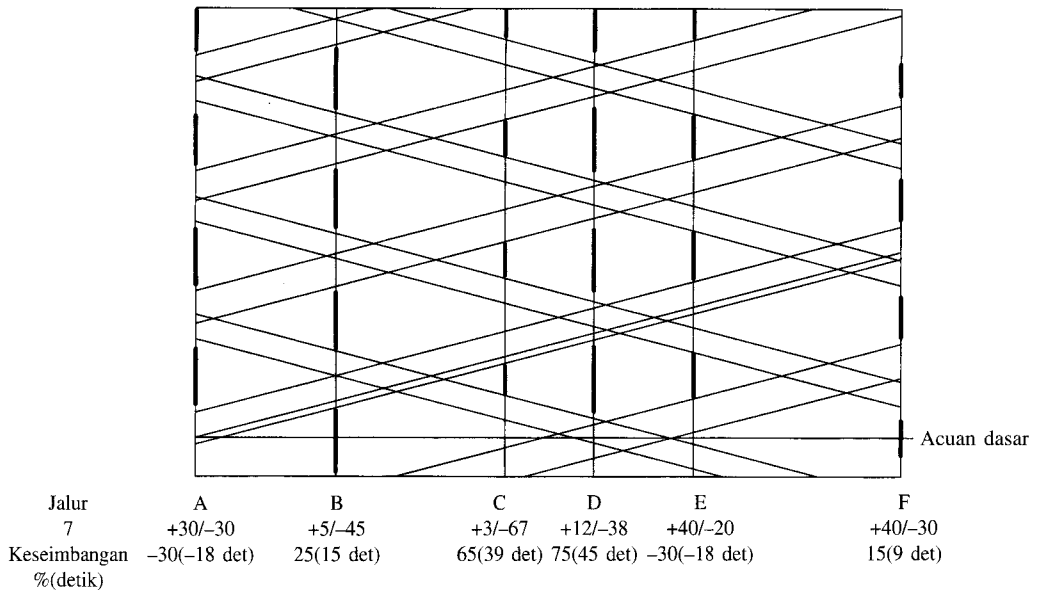
Jalur 1: jarak kumulatif dalam ft menuju tiap persimpangan dari persimpangan dasar A.

Jalur 2: kecepatan = 30 mil/jam = 44,1 ft/detik. Konversikan jarak dalam feet menjadi waktu tempuh dalam detik dan dalam siklus (persentase). 1 siklus = 60 detik = 2.646 ft/siklus (contoh di B, $800/2.646 = 30\%$).

Jalur 3: selisih numerik aljabar antara kelipatan terdekat dari 50% dan persentase yang muncul pada baris 2 (yaitu $x - 50\%$, $x - 100\%$, $x - 150\%$).

Jalur 4: persentase hijau sebagaimana telah diberikan di atas.

Jalur 5: setiap hijau diletakkan pada posisi acuan awalnya terhadap jalur data yang sama.



Gambar 8-E7 Metode Purdy.

Jalur 6: Jumlahkan baris 5 dan 3 secara aljabar (pembilang dan penyebut secara terpisah). Nilai “plus” terbesar = 5 dan nilai “minus” terkecil = 17. Jalur tembus di kedua arah = $5 + 17 = 22\%$ dari siklus.

Jalur 7: Mungkin diperlukan penyesuaian nilai pembilang dan penyebut dengan menambahkan $+50/+50$ atau $-50/-50$ untuk nilai-nilai tertentu pada baris 6 untuk mendapatkan jalur yang lebih lebar. Sebagai contoh, C dapat dihitung $(+53/17) + (-50/-50) = +3/-67$. Dalam kasus ini, lebar jalur mempunyai nilai $3 + 20 = 23\%$ dari siklus.

Dari Gambar 8-E7 dan prosedur sebelumnya, tahap-tahap untuk menggambar diagram waktu-kecepatan adalah sebagai berikut:

1. Gunakan setengah dari waktu hijau di A sebagai acuan dasar. Jalur di A akan memiliki satu bagian di bawah acuan dasar yang nilainya sama dengan nilai “plus” terkecil dan satu bagian di atas acuan dasar yang nilainya sama dengan “minus” terkecil dari waktu siklus.
2. Gambarlah jalur pada kedua arah berdasarkan batas kecepatan kendaraan.
3. Tentukan waktu keseimbangan (*offset time*) untuk tiap persimpangan dengan menggunakan nilai-nilai pada jalur 7 dari nilai-nilai pada jalur 2. Jika jalur 2 lebih besar dari 100, kurangkan 100 dan gunakan sisanya sebagai nilai baris 2.
4. Gambarlah interval waktu lalu-lintas berdasarkan keseimbangan-keseimbangan ini untuk setiap persimpangan.
5. Perlu dicatat bahwa keseimbangan-keseimbangan dinyatakan dalam persentase, dan kemudian dikonversi ke dalam detik (misalnya $-30 \times 60 = 18$ detik).

RANGKUMAN

Alat-alat pengendali lalu-lintas merupakan bagian yang penting dari perangkat yang dimiliki oleh insinyur untuk mengupayakan pergerakan kendaraan dan pejalan kaki yang efisien di sepanjang jalan dan persimpangan. Dalam bab ini, penekanan utama diletakkan pada topik umum tentang lampu lalu-lintas karena desain dan operasinya yang jauh lebih sulit dibandingkan metoda pengendalian lalu-lintas lainnya. Pertama, pemahaman dasar tentang komponen lampu lalu-lintas telah diuraikan, diikuti dengan pengkajian teoritis tentang sistem lampu lalu-lintas. Sejumlah metode lapangan praktis tentang desain lampu lalu-lintas secara satu persatu telah diuraikan, dilanjutkan dengan uraian singkat tentang bagaimana merancang lampu lalu-lintas yang diaktuiasi oleh aliran kendaraan.

Delapan jaminan (*warrant*) yang dimuat dalam *Manual on Uniform Traffic Control Devices* (FHWA, 2000) telah dijelaskan dengan singkat, diikuti dengan deskripsi singkat tentang metode untuk mengkoordinasikan lampu lalu-lintas pada jalan arteri yang sedang dikembangkan.

Bagi mereka yang bermaksud memperoleh pengetahuan yang lebih komprehensif dan mendalam tentang desain dan pengendalian persimpangan, mereka dapat mempelajari dari Drew (1968), FHWA (1985), dan JHK dan kawan-kawan (1980).

DAFTAR PUSTAKA

- AMERICAN ASSOCIATION OF STATE HIGHWAY AND TRANSPORTATION OFFICIALS (AASHTO) (2001). *A Policy on Geometric Design of Highway and Streets*, AASHTO, Washington, DC.
- DREW, DONALD R. (1968). *Traffic Flow Theory and Control*, McGraw-Hill, New York.
- FEDERAL HIGHWAY ADMINISTRATION (FHWA) (1985). *Traffic Control System Handbook*, U.S. Department of Transportation, Washington, DC.
- FEDERAL HIGHWAY ADMINISTRATION (FHWA) (1985). *Manual on Uniform Traffic Control Devices for Streets and Highways*, U.S. Department of Transportation, Washington, DC.
- GREENSHIELDS, B. D., D. SHAPIRO, and E. L. ERICKSON (1947). *Traffic Performance at Urban Street Intersections*, Technical Report 1, Bureau of Highway Traffic, Yale University, New Haven, CT.
- HOMBURGER, W. S., *et al* (1996). *Fundamentals of Traffic Engineering*, 14th ed., University of California, Berkeley.
- JHK AND ASSOCIATES (1980). *Design of Urban Streets*, Technology Sharing Report 80-204, U.S. Department of Transportation, Washington, DC.
- MITRIC, S. (1975). *Transportation Engineering notes*, Ohio State University, Columbus.
- PIGNATARO, L. J. (1973). *Traffic Engineering Theory and Practice*, Prentice Hall, Englewood Cliffs, NJ.
- PLINE, J. S. (Ed.) (1992). *Traffic Engineering Handbook*, 4th ed., Prentice Hall, Englewood Cliffs, NJ.
- PURDY, R. J. (1967). *Balanced Two-way Signal Progression*, *Traffic Engineering*, Institute of Traffic Engineers, Washington, DC.
- SALTER, R. J. (1974). *Highway Traffic Analysis and Design*, Addison-Wesley, Reading, MA.
- TRANSPORTATION RESEARCH BOARD (TRB) (1985). *Intersection Channelization Design Guide*, NCHRP Report 279, National Research Council, Washington, DC.
- TRANSPORTATION RESEARCH BOARD (TRB) (2000). *Highway Capacity Manual*, National Research Council, Washington, DC.
- WEBSTER, F. V., and B. M. COBBE (1962). *Traffic Signals*, Road Research Technical Paper 56, Her Majesty's Stationery Office, London.

SOAL-SOAL LATIHAN

1. Buatlah daftar ukuran performa yang akan Anda gunakan untuk membandingkan alat pengendali rambu-berhenti dengan alat pengendali lampu lalu-lintas.
2. Kajiilah sebuah persimpangan di kota Anda yang memiliki catatan kecelakaan yang tinggi. Desain ulanglah persimpangan ini, dengan menggunakan konsep kanalisasi. Buatlah laporan singkat yang menguraikan logika dan kriteria yang Anda gunakan.
3. Kriteria apakah yang digunakan untuk memilih panjang fase lampu kuning pada sebuah persimpangan?
4. Bandingkan antara siklus lampu lalu-lintas yang pendek dan yang panjang. Kriteria apakah yang digunakan untuk memilih siklus terpendek dan terpanjang?
5. Diasumsikan perlambatan 9 ft/detik^2 , lebar persimpangan 50 ft, waktu persepsi-reaksi 2,0 detik, dan panjang kendaraan rata-rata 20 ft, plotlah durasi minimum lampu kuning versus kecepatan mendekati persimpangan. Berapakah durasi minimum lampu kuning?
6. Lihat Contoh 8-2. Jika volume lajur kritis selama jam sibuk adalah 500 dan 300 kendaraan/jam, dan kecepatan mendekati persimpangan adalah 35 dan 25 mil/jam masing-masing untuk Pine Street dan Oak Street, hitunglah panjang siklus dan waktu hijau. Gambarlah diagram fase untuk kasus ini, gunakan Metode Homburger dan Kell.
7. Lihat Contoh 8-4. Diperkirakan bahwa arus kritis pada arah U-S adalah 900 kendaraan/jam dan pada arah T-B adalah 450 kendaraan/jam, waktu yang hilang per fase adalah 6,5 detik. Tentukanlah panjang siklus dan distribusi hijau. Gambarlah diagram fase yang memperlihatkan pemisahan-pemisahannya. Gunakan Metode Webster.
8. Carilah elemen-elemen siklus terpendek yang seluruhnya berdasarkan pada pergerakan pejalan kaki, dengan asumsi tidak ada lampu lalu-lintas "jalan/dilarang jalan".
9. Apakah dasar untuk memisahkan waktu hijau total yang tersedia per siklus di antara berbagai fase yang berbeda?
10. Suatu persimpangan terisolasi di Ohio street dan Michigan street membutuhkan lampu lalu-lintas dua-fase. Lebar Ohio street 48 ft, dengan volume lajur kritis 450 kendaraan/jam; lebar Michigan street 36 ft, dengan volume lajur kritis 380 kendaraan/jam. Kedua jalan tersebut menampung truk 15%, memiliki tikungan ke kiri 15%, memiliki PHF 0,90, dan kecepatan mendekati persimpangan 35 mil/jam. Rancanglah sistem lampu lalu-lintas dengan menggunakan tiga jenis metode yang telah diuraikan dalam bab ini. Asumsikan waktu-yang-hilang adalah 3 detik/fase dan headway-headway rata-rata 2,5 detik.
11. Sebuah jalan mendekati sebuah persimpangan yang memiliki lampu lalu-lintas memiliki batas kecepatan maksimum 35 mil/jam, durasi lampu kuning = 4 detik, durasi lampu merah = 1,5 detik, panjang kendaraan rata-rata = 20 ft, perlambatan = 9 ft/detik^2 , lebar persimpangan = 45 ft, jarak dari garis berhenti ke sisi terjauh dari kerb persimpangan = 48 ft, dan waktu persepsi-reaksi = 2,5 detik. Pelajari dengan seksama data-data ini dan tulislah laporan rinci tentang tingkat keselamatan dan daya dukung persimpangan. Saran apakah yang Anda berikan kepada insinyur lalu-lintas kota?
12. (a) Sebuah jalan utama di Cincinnati membutuhkan progresi lampu lalu-lintas yang membantu pergerakan persimpangan antara Ludlow ke McMillan. Panjang-panjang siklus lampu lalu-lintas seluruhnya 60 detik, dengan pemisahan siklus seragam sebesar 60/40%. Rekomendasi kecepatan adalah 30 mil/jam. Gambarlah diagram waktu-ruang. Gunakan skala horizontal 1 inci = 600 ft untuk jarak dan skala vertikal 1 inci = 40 detik untuk waktu. Pertengahan dari interval hijau di Ludlow sebaiknya digunakan sebagai acuan dasar. Tandailah letak-letak keseimbangan lampu lalu-lintas. Berapakah lama waktu hijau? Perhatikan pula pergerakan pada arah yang berlawanan.
(b) Jika jalan utama ini sekarang dirancang untuk progresi lampu lalu-lintas dengan arus yang seimbang di kedua arahnya, dengan mempertahankan kecepatan dan pemisahan siklus yang sama dengan sebelumnya, gambarlah diagram waktu-ruang yang baru. Pertengahan interval waktu di Ludlow harus digunakan sebagai acuan dasar. Berapakah lebar lajur maksimum pada

tiap arah? Tandai beberapa titik keseimbangan pada masing-masing arah.

- (c) Tulislah sebuah laporan singkat yang menguraikan bagaimana Anda memecahkan masalah berikut ini.

Persimpangan Jalan	Jarak Antara Jalan (ft)
Jalan Ludlow	0
Jalan Dixsmeyth	870
Jalan Capitol	800
Jalan Riddle	1310
Jalan University	620
Jalan O.C.	1450
Jalan Calhoun	400
Jalan McMillan	240

13. Arus yang diamati dan arus jenuh pada persimpangan yang dikontrol oleh lampu lalu-lintas dua-fase telah diketahui nilainya. Kedua periode antar hijau adalah 8 detik dan waktu-yang-hilang adalah 3 detik/fase. Lebar jalan menuju persimpangan adalah 48 ft untuk arah T-B dan 60 ft untuk arah U-S. Buatlah asumsi seperlunya dan rancanglah waktu siklus dan distribusi hijau dengan menggunakan seluruh tiga metode yang telah diuraikan dalam bab ini. Bandingkan hasilnya dan uraikan jawaban Anda.

	U	S	T	B
Arus, q (kendaraan/jam)	900	750	700	800
Arus jenuh, s (kendaraan/jam)	1800	1800	1600	1600

14. Kerjakanlah kembali Contoh 8-6 menggunakan Metode Pignataro jika volume kritis adalah 500 kendaraan/jam dan kecepatan mendekati persimpangan 35 mil/jam untuk Pine Street; dan volume kritis 300 kendaraan/jam dan kecepatan mendekati persimpangan 25 mil/jam untuk Oak Street. Rincian lainnya tidak ada yang berubah.
15. Sebuah persimpangan baru yang direncanakan untuk daerah di pinggir kota membutuhkan desain dengan rincian sebagai berikut:

	Cabang Persimpangan U-S	Cabang Persimpangan T-B
Lebar kerb ke kerb	60 ft	56 ft
Volume persimpangan pada jam sibuk		
Jalan lurus	500 Utara 600 Selatan	400 Timur 350 Barat
Menikung ke Kanan	100 Utara 130 Selatan	120 Timur 100 Barat
Menikung ke Kiri	100 Utara 95 Selatan	75 Timur 125 Barat
Faktor Jam Sibuk (PHF)	0,90	0,90
Kendaraan Penumpang	95%	95%
Truk	5%	5%
Pejalan Kaki	200 Utara 250 Selatan	250 Timur 300 Barat

Buatlah asumsi apapun yang Anda rasa sesuai dan kemudian rancanglah sistem lampu lalu-lintas yang memadai, yang mengindikasikan panjang siklus dan panjang fase dengan menerapkan (a) Metode Homberger dan Kell, (b) Metode Webster dan (c) Metode Pignataro.

Apendiks A

Elemen-elemen Ekonomi Teknik

1. PENDAHULUAN

Ekonomi teknik adalah cabang ilmu ekonomi yang digunakan oleh para ahli teknik untuk mengoptimalkan proyek-proyek desain dan pembangunan mereka. Penaksiran proyek dan analisis manfaat-biaya membutuhkan pengetahuan tentang ekonomi teknik. Para ahli teknik dan perencana selalu memikirkan tentang uang, apakah penggunaan atau pertukaran uang itu berada di sektor pribadi atau umum. Dalam bahasa ekonominya, benda-benda (*articles*) yang diproduksi, yang dijual, atau yang dipertukarkan disebut barang (*goods*). Sedikitnya diperlukan empat sektor produksi untuk memproduksi suatu barang; buruh, lahan, modal, dan perusahaan. Modal mencakup uang, mesin, alat-alat, dan bahan yang dibutuhkan untuk memproduksi suatu barang. Biaya oportunitas (*opportunity cost*) modal diukur oleh tingkat suku bunga, dan bunga atas modal merupakan premi yang dibayar atau diterima untuk penggunaan uang tersebut. Di sini, biaya oportunitas menggambarkan biaya suatu peluang yang dilupakan karena sumber-sumber daya telah digunakan untuk suatu alternatif tertentu yang sengaja dipilih dan, oleh sebab itu, tidak dapat digunakan untuk keperluan lain. Tingkat suku bunga yang mengaitkan sejumlah uang pada suatu waktu di masa depan terhadap nilai uang itu pada saat ini disebut *tingkat diskonto* (*discount rate*).

Para mahasiswa yang ingin mengetahui lebih dalam tentang ekonomi teknik dapat membaca buku-buku referensi yang daftarnya diberikan pada akhir apendiks ini.

2. NOTASI

Simbol-simbol dan definisi berikut digunakan dalam apendiks ini.

- P = pokok, sejumlah uang yang diinvestasikan dalam tahun awal, atau jumlah uang sekarang
- i = tingkat suku bunga per satuan waktu yang dinyatakan sebagai suatu desimal
- n = waktu, banyaknya satuan waktu yang dibutuhkan oleh bunga untuk berakumulasi
- I = bunga sederhana; jumlah total uang yang dibayarkan atas penggunaan uang tersebut dengan bunga sederhana

- F = jumlah majemuk; sejumlah uang pada akhir dari n satuan waktu dengan tingkat suku bunga i , terdiri atas pokok ditambah bunga yang dapat dibayarkan
 A = rangkaian seragam yang berupa pembayaran atau penerimaan akhir-periode yang berlangsung selama n periode
 S = nilai jual-kembali (*resale value*) pada akhir dari n tahun

3. BUNGA SEDERHANA

Apabila seseorang menginvestasikan uang dengan tingkat suku bunga sederhana sebesar i untuk periode n tahun, bunga sederhananya memiliki hubungan berikut:

$$\text{Bunga sederhana } (I) = Pin \quad (1)$$

Jumlah ini, I , akan ditambahkan pada jumlah awal pada akhir periode yang disebutkan, tetapi akan tetap konstan selama setiap periode, kecuali bunganya berubah.

Contoh 1

Uang sejumlah \$2500 didepositokan di bank yang menawarkan bunga sederhana 5% per tahun. Berapakah bunganya pada akhir tahun pertama dan tahun-tahun berikutnya?

$$I = (2500) (0,05) (1) = \$125$$

Bunga untuk tahun kedua dan tahun-tahun berikutnya juga akan sebesar \$125. Dengan kata lain, pada akhir tahun pertama, uang tersebut akan sebanyak \$2625; untuk akhir tahun kedua, yang tersebut akan sebanyak \$2750.

4. BUNGA MAJEMUK

Akan tetapi, apabila bunga dibayar untuk investasi awal dan juga untuk bunga yang diperoleh, prosesnya dikenal sebagai *bunga majemuk*. Jika jumlah awal, P , diinvestasikan pada suatu tingkat suku bunga, i , selama periode n tahun,

$$F = P (1 + i)^n \quad (2)$$

atau

$$P = F / (1 + i)^n$$

Jika bunga i dibunga-majemukkan m kali per periode n ,

$$F = P(1 + i/m)^{nm} \quad (3)$$

Pada saat m mendekati takterhingga (∞), Persamaan (3) dapat ditulis menjadi

$$F = Pe^{in} \quad (4)$$

atau

$$P = Fe^{-in} \quad (5)$$

Persamaan (4) dan (5) digunakan untuk “pembunga-majemukan kontinu,” suatu metode yang sering digunakan dalam praktek. Faktor-faktor $(1 + i)^n$ dan e^{in} disebut faktor jumlah majemuk, dan $(1 + i)^{-n}$ dan e^{-in} disebut faktor nilai sekarang untuk pembayaran tunggal.

Contoh 2

Berapakah jumlah dari uang \$1000 yang dibunga-majemukkan pada (a) 6% per tahun, (b) 6% per setiap triwulan, dan (c) 6% per tahun yang dibunga-majemukkan secara menerus selama 10 tahun?

Penyelesaian

(a) Di sini, $i = 0,06$, $n = 10$, dan $m = 1$. Persamaan (2) menjadi

$$F = 1000(1 + 0,06)^{10} = 1000(1,79084) = \$1790,85$$

(b) Di sini, $i = 0,06$, $n = 10$, dan $m = 4$. Persamaan (3) menjadi

$$F = 1000[1 + (0,06/4)]^{40} = (1000)(1,81402) = \$1814,02$$

(c) Di sini, $i = 0,06$, dan $n = 10$. Persamaan (4) menjadi

$$F = 1000e^{(0,06)(10)} = (1000)(1,82212) = \$1822,12$$

Contoh 3

Berapakah tingkat suku bunga *efektif* apabila sejumlah uang diinvestasikan pada tingkat suku bunga *nominal* sebesar 10% per tahun, yang dibunga-majemukkan secara tahunan, semi-tahunan, triwulanan, bulanan, harian, dan terus-menerus (*continuously*)?

Penyelesaian

Anggaplah jumlah tersebut adalah \$1 untuk periode 1 tahun. Maka jumlah pada akhir tahun 1 yang dibunga-majemukkan akan seperti berikut ini:

Tahunan = $1(1 + 0,01)^{(1)(1)} = 1,10$ dan tingkat suku bunganya = 10%.

Semi-tahunan = $1(1 + 0,1/2)^{(1)(2)} = 1,1025$ dan tingkat suku bunganya = 10,25%

Triwulanan = $1(1 + 0,1/4)^{(1)(4)} = 1,10381$ dan tingkat suku bunganya = 10,381%

Bulanan = $1(1 + 0,1/12)^{(1)(12)} = 1,10471$ dan tingkat suku bunganya = 10,471%

Harian = $1(1 + 0,1/365)^{(1)(365)} = 1,10516$ dan tingkat suku bunganya = 10,516%

Terus menerus = $1[e^{(0,1)(1)}] = 1,10517$ dan tingkat suku bunganya = 10,517%

Pembahasan

Pembandingan ini memperlihatkan perbedaan di antara tingkat suku bunga nominal dan efektif. Katakanlah, misalnya, banyaknya yang diperoleh dengan menambahkan bunga setiap triwulan sama dengan \$1,10381. Oleh sebab itu, $1 + i = 1,10381$, dan, oleh sebab itu, $i = 0,10381$, atau 10,381%.

5. RANGKAIAN PEMBAYARAN SERAGAM (UNIFORM SERIES OF PAYMENTS)

Jika yang ada bukanlah suatu jumlah yang tunggal melainkan suatu aliran kas (*cash flow*) seragam berupa biaya-biaya dan pendapatan yang berada pada tingkat suku bunga yang konstan, rumus-rumus rangkaian pembayaran seragam berikut lazim digunakan dalam praktek.

5.1 Faktor Jumlah Majemuk (CAF-Compound Amount Factor)

CAF membantu menjawab pertanyaan berikut: Berapakah jumlah masa depan (F) yang akan menumpuk (*accumulate*) apabila kita asumsikan bahwa ada sejumlah uang (A) yang diinvestasikan secara tahunan pada suku bunga i selama n tahun?

$$F = A \left[\frac{(1+i)^n - 1}{i} \right] = A \left(\frac{x-1}{i} \right)$$

dengan $[(x-1)/i]$ merupakan faktor jumlah majemuk.

5.2 Faktor Dana Tertanam (SFF–Sinking Fund Factor)

SFF ini memperlihatkan bagaimana sejumlah uang (A) harus diinvestasikan pada akhir setiap tahun dengan suku bunga i selama n tahun untuk mengumpulkan sejumlah uang (F) di masa depan. SFF merupakan kebalikan dari CAF.

$$F = A \left[\frac{i}{(1+i)^n - 1} \right] = A \left(\frac{i}{x-1} \right)$$

dengan $[i/(x-1)]$ merupakan faktor dana tertanam rangkaian seragam.

5.3 Faktor Nilai-Sekarang (PWF–Present Worth Factor)

PWF memberitahu kita berapa banyak P yang harus diinvestasikan sekarang pada suku bunga i untuk memperoleh suatu jumlah sebesar A pada akhir setiap tahun selama n tahun.

$$P = A \left[\frac{(1+i)^n - 1}{(1+i)^n i} \right] = A \left(\frac{x-1}{xi} \right)$$

dengan $[(x-1)/(xi)]$ merupakan faktor nilai sekarang rangkaian seragam.

5.4 Faktor Pengembalian Modal (CRF–Capital Recovery Factor)

CRF menjawab pertanyaan berikut: Jika sejumlah uang (P) diinvestasikan sekarang dengan bunga i , berapakah jumlah (A) yang dapat diperoleh pada akhir setiap tahun selama n tahun, sedemikian rupa sehingga investasi awalnya (P) tepat habis?

$$A = P \left[\frac{i(1+i)^n}{(1+i)^n - 1} \right] = P \left(\frac{xi}{x-1} \right)$$

CRF merupakan kebalikan PWF. Ada satu cara lain untuk memandang CRF: Jika sejumlah P dipinjam sekarang dengan suku bunga i , berapakah jumlah (A) yang harus dibayarkan pada akhir setiap tahun untuk melunasi hutang itu selama n periode?

Contoh 4

Jika suku bunganya adalah 5% per tahun, berapakah jumlah akumulasinya setelah 6 tahun seandainya \$1000 diinvestasikan pada akhir setiap tahun selama 6 tahun?

Penyelesaian

$$F = A \left[\frac{(1+i)^n - 1}{i} \right] = 1000(6,80191) = \$6801,91$$

Contoh 5

Seorang agen rumah membeli sebuah rumah seharga \$200.000 dan mengeluarkan \$1000

per tahun untuk pemeliharaan selama 8 tahun berikutnya. Berapakah harga jual rumah tersebut untuk memperoleh laba sebanyak \$40.000? Andaikan $i = 12\%$ per tahun.

Penyelesaian

Nilai masa depan dari \$200.000 dalam 8 tahun nanti:

$$F = P(1 + i)^n = 200.000(1 + 0,12)^8 = 200.000(2,475963) = \$495.192,63$$

Nilai masa datang dari pengeluaran tahunan untuk pemeliharaan:

$$F = A \left[\frac{(1 + i)^n - 1}{i} \right] = 1000(12,299693) = \$12.299,69$$

Harga jual minimum setelah 8 tahun, dengan laba \$40.000

$$= 495.192,63 + 12.299,69 + 40.000$$

$$= \$547.492,32$$

Contoh 6

Sistem angkutan umum kota harus menetapkan dana tertanam (*sinking fund*) untuk 10 buah bus, masing-masing menghabiskan \$100.000, untuk penggantian tepat waktu. Umur dari bus-bus tersebut ialah 7 tahun dan suku bunganya adalah 6% per tahun.

Penyelesaian

$$A = F \left[\frac{i}{(1 + i)^n - 1} \right] = (100.000) (10) (0,119135018) = \$119.135,02 \text{ per tahun}$$

Contoh 7

Seorang kontraktor ingin menentukan pembayaran akhir-periode yang seragam untuk melunasi hutang sebanyak \$1.000.000 dalam 3 tahun, dengan melakukan pembayaran setiap bulan. Suku bunga adalah 12% per tahun. Berapakah CRF-nya?

Penyelesaian

$$i = 0,12/12 = 0,01 \quad n = 3 \times 12 = 36$$

$$A = P \left[\frac{i(1 + i)^n}{(1 + i)^n - 1} \right] = 1.000.000[0,033214309] = 33.214,31$$

6. RANGKAIAN BERTAMBAH SERAGAM (UNIFORM GRADIENT SERIES)

Apabila serangkaian pembayaran seragam semakin meningkat setiap tahunnya dengan jumlah kenaikan yang besarnya sama, kita dapat mengkonversi pembayaran-pembayaran tersebut menjadi suatu gradient seragam yang ekuivalen. Jika pertambahan seragam pada akhir setiap tahun ini adalah G , maka jumlah total gabungannya adalah F .

$$F = \frac{G}{i} \left[\frac{(1 + i)^n - 1}{i} \right] - \frac{nG}{i}$$

Untuk mengkonversi jumlah ini ke pembayaran periode seragam yang ekuivalen selama n periode, kita perlu mensubstitusikan jumlah tersebut untuk menghitung F dalam faktor dana tertanamnya, yang menghasilkan

$$A = \frac{G}{i} - \frac{nG}{i} \left[\frac{i}{(1+i)^n - 1} \right]$$

Contoh 8

Pemeliharaan untuk sebuah sistem bus dalam kota menghabiskan \$20.000 pada akhir tahun pertama, naik sebanyak \$5000/tahun untuk 5 tahun berikutnya. Berapakah biaya rangkaian seragam ekuivalen setiap tahun, dengan bunga 5% per tahun?

Penyelesaian

$$\begin{aligned} A &= \frac{G}{i} - \frac{nG}{i} \left[\frac{i}{(1+i)^n - 1} \right] = \frac{5000}{0,05} - \frac{(5)(5000)}{0,05} (0,1809748) \\ &= 100.000 - 90.487,4 = \$9512,60 \end{aligned}$$

Oleh sebab itu, biaya tahunan ekuivalen rangkaian seragamnya

$$= 20.000 + 9512,60 = \$29.512,60$$

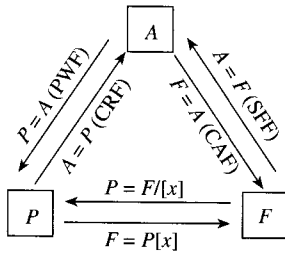
untuk setiap tahun selama 5 tahun tersebut.

7. FAKTOR-FAKTOR BUNGA MAJEMUK DISKRIT

Rangkuman faktor-faktor ini dimuat pada Tabel A-1 dan hubungan antara mereka diperlihatkan pada Gambar A-1.

Tabel 1-2 Rangkuman Faktor					
Simbol	Faktor	Persamaan	Bentuk Simbolik	Carilah	Diketahui
A	Pembayaran tunggal				
	1. Jumlah majemuk 2. Nilai sekarang	$F = P[x]$ $P = F/[x]$	$F/P, i, n$ $P/F, i, n$	F P	P F
B	Rangkaian seragam:				
	3. Jumlah majemuk	$F = A[(x - 1)/i]$	$F/A, i, n$	F	A
	4. Dana tertanam	$A = F[i/(x - 1)]$	$A/F, i, n$	A	F
	5. Nilai sekarang	$P = A[(x - 1)/ix]$	$P/A, i, n$	P	A
	6. Pengembalian modal	$A = P[ix/(x - 1)]$	$A/P, i, n$	A	P
C	Pertambahan aritmetik: 7. Ekuivalen rangkaian seragam	$A = G\{1/i - (n/i)[i/(x - 1)]\}$	$A/G, i, n$	A	G

Catatan: Faktor $(1 + i)^n$ dikenal sebagai faktor jumlah majemuk pembayaran tunggal, dan besarnya sama dengan x . Dengan cara yang sama, pernyataan matematis di dalam setiap persamaan dalam tanda kurung-siku merupakan faktor yang bersesuaian dengan uraiannya, misalnya, $[ix/(x - 1)]$ = faktor pengembalian modal, CRF.



Gambar A-1 Hubungan di antara Faktor-faktor.

8. ARUS KAS KONTINU SERAGAM DAN BIAYA MODAL

Nilai-sekarang suatu arus kas kontinu seragam ialah banyaknya P , yang diinvestasikan pada tingkat suku bunga i yang akan menghasilkan arus kas sebanyak a per periode selama n periode. Perhatikanlah suatu interval waktu singkat t ke $t + \delta t$, di mana selama itu arus kasnya akan sebanyak $a(\delta t)$, dan nilai-sekarang elemen ini ialah $a(\delta t)(e^{-it})$. Nilai-sekarang dari keseluruhan arus tersebut ialah

$$\begin{aligned} P &= \int a e^{-it} dt = -\frac{a}{i} (e^{-it}) \\ &= a \left(\frac{1 - e^{-it}}{i} \right) = an \left(\frac{1 - e^{-it}}{in} \right) = an f_w \end{aligned}$$

Suku $f_w = (1 - e^{-it})/in$ merupakan faktor nilai-sekarang untuk arus seragam; suku ini bermanfaat dalam membuat perbandingan perlengkapan dan jasa dengan umur pelayanan yang berbeda, dengan mereduksinya ke nilai-nilai sekarang.

8.1 Biaya Modal

Biaya modal (CC—*capitalized cost*) merupakan nilai-sekarang serangkaian jasa atau perlengkapan yang dijadwalkan berulang setiap n periode hingga *selamanya*. Jika P merupakan jumlah yang harus dibayar setiap n periode, dengan n merupakan umur perlengkapan tersebut, maka CC sama dengan

$$K = P + P e^{-in} + P e^{-2in} + \dots +$$

Dengan menjumlahkan deret geometrik ini akan diperoleh

$$K = P \left(\frac{1}{1 - e^{-in}} \right) = P \left(\frac{e^{in}}{e^{in} - 1} \right) = P \left(\frac{1}{\inf_w} \right)$$

Contoh 9

Departemen Perhubungan berhadapan dengan satu masalah. Haruskah departemen itu menyewa truk seharga \$480 sebulan untuk setiap truk atau membelinya seharga \$33.000 sebuah, dengan mengandaikan umur berguna sebuah truk ialah 10 tahun dan $i = 4\%$?

Penyelesaian

Nilai-sekarang truk sewaan $= an[(1 - e^{-in})/in]$

$$a = 480 \times 12 = \$5760/\text{tahun}$$

Oleh sebab itu,

$$P = (5760)(10)[1 - e^{-0,14 \times 10}]/(0,14)(10) = (5760)(10)(0,538145) = \$30.997,15 < \$33.000$$

Oleh sebab itu, menyewa truk akan lebih menguntungkan.

Contoh 10

Suatu pembandingan antara dua jenis jembatan harus dibuat dengan menggunakan rincian berikut.

Jenis	Baja	Kayu
Biaya awal	\$400.000	\$250.000
Cat dan pemeliharaan	\$400.000/10 tahun	\$25.000/2 tahun
Umur	40 tahun	20 tahun
Tingkat suku bunga	9%	9%

Penyelesaian

Penyelesaian	Jembatan Baja	Jembatan Kayu
Biaya pertama	$K_1 = P[1/(1 - e^{-in})]$ $= 400.000[1/(1 - e^{-0,09 \times 40})]$ $= 400.000(1,028091)$ $= 411.236,51$	$K_1 = 250.000[1/(1 - e^{-0,09 \times 20})]$ $= 250.000(1,19803)$ $= 299.508,41$
Cat dan pemeliharaan	$K_2 = 40.000[1/(1 - e^{-0,09 \times 10})]$ $= 67.404,71$ $= 151.763,69$	$K_2 = 25.000[1/(1 - e^{-0,09 \times 2})]$ $= 25.000(6,070547)$
Total	\$478.641	\$451.272

Berdasarkan perhitungan yang ditunjukkan di atas, jembatan kayu akan lebih murah.

DAFTAR PUSTAKA

- DE NEUFVILLE, R., AND J. H. STANFORD (1971). *Systems Analysis for Engineers and Managers*, McGraw-Hill, New York.
- JEWEL, T. K. (1980). *A Systems Approach to Civil Engineering, Planning and Design*, Harper and Row, New York.
- JONSON, R. E. (1990). *The Economics of Building*, Wiley, New York.
- MITCHELL, B. L. (1980). *Engineering Economics*, Wiley, Chichester, England.
- PILCHER, R. (1992). *Principles of Construction Management*, 3rd ed., McGraw-Hill, London.

SOAL-SOAL LATIHAN

1. Berapakah nilai-sekarang untuk sejumlah \$3500 selama 10 tahun dengan tingkat suku bunga 10%?
2. Seseorang mendepositkan \$1200, \$2000, dan \$4000 masing-masing pada akhir tahun 1, 2, dan 3, dengan bunga 10% per tahun. Berapakah jumlah uang tersebut pada akhir tahun keenam?
3. Seorang klien ingin mengkredit rumah yang berharga \$50.000 selama periode 10 tahun. Jika bunganya 10% per tahun, akan berapakah (a) pembayaran tahunan dan (b) pembayaran bulannya?
4. Sebuah bank menawarkan tingkat suku bunga berikut:
 - (a) 6% bunga majemuk tahunan
 - (b) 5,9% bunga majemuk semi-tahunan
 - (c) 5,8% bunga majemuk triwulanan
 - (d) 5,5% bunga majemuk bulanan
 - (e) 5,45% bunga majemuk kontinu

Tingkat suku bunga mana yang akan Anda pilih untuk memperoleh pengembalian yang tertinggi?

5. Saya ingin menggandakan uang warisan yang jumlahnya besar. Bank saya menawarkan tingkat suku bunga: (a) 9% bunga majemuk tahunan dan (b) 8,70% bunga majemuk kontinu. Yang manakah seharusnya saya pilih dan mengapa memilih yang itu?
6. Seorang membeli mobil, yang berjanji akan membayar \$300 per bulan selama 5 tahun, tetapi setelah 2 tahun, ketika pembayaran ke-24 telah lewat, dia memutuskan untuk melakukan pembayaran sekaligus untuk pelunasannya. Jika tingkat suku bunga 10%, berapakah jumlah yang harus dibayarnya?
7. Pemeliharaan untuk bus, yang umurnya 10 tahun, ialah \$1500 per tahun yang bermula sejak tahun keempat, yang naik sebesar \$200 untuk tahun-tahun berikutnya. Berapakah nilai-sekarang biaya pemeliharaannya tersebut?

Apendiks B

Penerapan Probabilitas dan Statistika

1. PENDAHULUAN

Perlunya memahami begitu banyak informasi tentang teknik jalan raya dan perencanaan transportasi telah memunculkan cara-cara formal untuk menerangkan data numerik yang dikumpulkan dari pengamatan-pengamatan. Prinsip-prinsip probabilitas dan statistika memainkan peranan yang sangat penting dalam menganalisis dan menafsirkan data-data ini.

Apendiks ini merangkum sejumlah metode analisis statistik yang lebih sederhana. Apendiks ini bukanlah apendiks yang lengkap dan juga tidak memberikan dasar-dasar teoretis serta penjabaran probabilitas dan statistika.

2. ELEMEN-ELEMEN PROBABILITAS

Dalam kehidupan sehari-hari kita sering diminta memprediksi hasil dari tindakan tertentu yang bisa kita lakukan. Dalam hal-hal seperti itu kita lazim menggunakan apa yang disebut sebagai **probabilitas** dari terjadinya suatu hasil tertentu.

2.1 Definisi

Probabilitas adalah ukuran numerik yang menjelaskan peluang munculnya suatu kejadian tertentu dari antara sejumlah kemungkinan. Perlunya menggunakan probabilitas berasal dari kenyataan akan terdapatnya suatu elemen ketidakpastian dalam setiap proses pengambilan-keputusan dalam bidang teknik, atau dalam semua analisis teknik dan prosedur desain.

2.2 Hukum-hukum Sederhana mengenai Probabilitas

Ada beberapa hukum dasar probabilitas yang bermanfaat untuk memahami dan menentukan sifat-sifat suatu populasi.

- (a) Apabila suatu percobaan diulang berkali-kali pada keadaan yang identik—di mana selama waktu tersebut suatu kejadian A bisa muncul atau bisa juga tidak muncul—maka probabilitas kemunculan A adalah proporsi dari berapa kali A memang muncul.

Probabilitas kemunculan A = banyaknya percobaan di mana A muncul/jumlah total percobaan

Probabilitas ini biasanya dinyatakan sebagai pecahan dan dapat mengambil nilai dari 0 hingga 1. Sebagai contoh, $P(A)$ = probabilitas kemunculan kejadian A .

- (b) Jika $P(A)$ merupakan probabilitas kemunculan kejadian A , maka probabilitas ketakmunculan kejadian tersebut ialah $1 - P(A)$. Sebagai contoh, jika probabilitas kegagalan suatu mesin ialah 0,2, probabilitas ketakgagalannya (sukses) ialah 0,8.
- (c) Jika suatu kejadian merupakan gabungan beberapa kejadian $e_1, e_2, e_3, \dots, e_n$, maka probabilitas bahwa kejadian gabungan A akan muncul sama dengan jumlah probabilitas kejadian-kejadian yang menyusunnya. Sebagai contoh, jika probabilitas 0, 1, 2, 3, dan 4 atau lebih kendaraan yang datang dalam interval 5-detik ialah $P(0) = 0,17, P(1) = 0,35, P(2) = 0,20, P(3) = 0,18$, dan $P(4) = 0,10$, maka probabilitas tiga atau lebih kendaraan yang datang dalam interval itu ialah $P(3) + P(4) = 0,18 + 0,10 = 0,28$.
- (d) Jika dua kejadian, A dan B , merupakan kejadian yang saling terpisah (*mutually exclusive*) (yakni, jika A muncul, maka B tidak muncul dan sebaliknya), probabilitas total bahwa salah satu kejadian ini muncul ialah

$$P(A \text{ atau } B) = P(A) + P(B)$$

Sebagai contoh, (dengan mengacu ke (c) di atas) probabilitas bahwa satu atau dua kendaraan datang selama interval 5 detik ialah

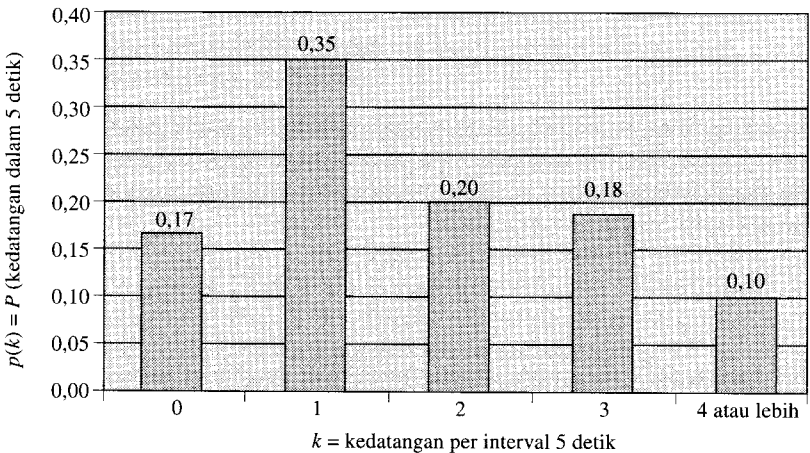
$$P(1 \text{ atau } 2) = P(1) + P(2) = 0,35 + 0,20 = 0,55$$

- (e) Jika dua kejadian, A dan B , saling bebas (*independent*) (yakni, kemunculan A tidak mempengaruhi kemunculan B , dan sebaliknya), probabilitas bahwa kedua kejadian itu akan muncul (yang disebut probabilitas gabungan) ialah

$$P(A \text{ dan } B) = P(A) \times P(B)$$

Anggaplah kita mengambil dua bola secara bersamaan dari satu kotak yang berisi 12 bola, yang terdiri atas 5 bola hijau dan 7 bola merah. Probabilitas ini akan sama dengan

$$(7/12) (7/12) = 49/144 = 0,34$$

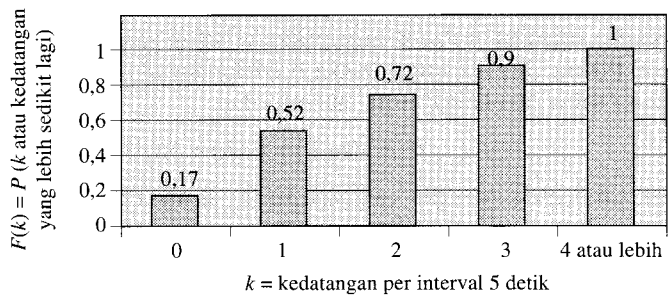


Gambar B-1 Probabilitas Kedatangan Kendaraan selama Interval 5-detik yang Memperlihatkan Fungsi Massa Probabilitas.

2.3 Distribusi Probabilitas

Pada bagian (c) di halaman 331 kita telah memeriksa secara cermat probabilitas 0, 1, 2, 3, atau 4 kendaraan yang datang dalam interval 5-detik. Probabilitas-probabilitas ini dapat diplot, dengan sumbu-*x* yang menandakan banyaknya kedatangan (*k*) dan sumbu-*y* yang menandakan probabilitas-probabilitas kemunculannya. Gambar B-1 memperlihatkan fungsi massa probabilitas (pmf-*probability mass function*).

Gambar B-1 dapat disajikan dalam bentuk lain dengan memplot probabilitas kumulatif hingga ke satu nilai variabel tertentu, seperti yang ditunjukkan pada Gambar B-2. Di sini ordinat pada setiap titik menunjukkan probabilitas bahwa akan terdapat jumlah kedatangan yang lebih kecil daripada yang dinyatakan. Representasi ini disebut fungsi distribusi kumulatif (cdf-*cumulative distribution function*) untuk variatnya, dan fungsi itu ditandai sebagai *F* (*x*) untuk variabel kontinu dan *F* (*k*) untuk variabel diskrit.



Gambar B-2 Fungsi Distribusi Kumulatif.

Untuk variabel kontinu, fungsi distribusi kumulatif ini ialah

$$F(x) = P(x \text{ atau kurang})$$
$$= \int_{-\infty}^x f(x)dx$$

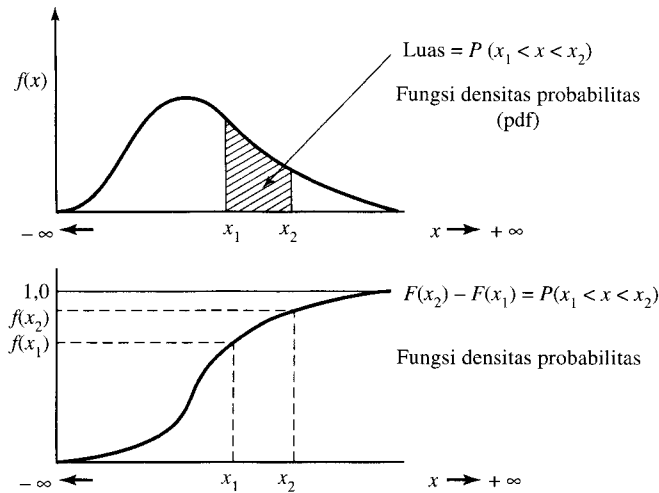
dengan *f* (*x*) disebut fungsi densitas probabilitas dan didefinisikan oleh

$$f(x) = \frac{dF(x)}{dx}$$

Fungsi distribusi probabilitas dan densitas probabilitas untuk suatu variabel kontinu ditunjukkan pada Gambar B-3. Perhatikan bahwa luas di bawah fungsi densitas probabilitas sama dengan 1, dan luas di antara dua titik *x*₁ dan *x*₂ memberikan probabilitas variabel yang terletak di antara *x*₁ dan *x*₂

$$\therefore P(x_1 < x < x_2) = \int_{x_2}^{x_1} f(x)dx$$

Dua karakteristik fungsi probabilitas ialah nilai-tengahnya (*mean*) (*μ*, atau nilai harapan) dan variansnya (*σ*²). Pada dasarnya, mean ini merupakan ukuran kecenderungan terpusat (*central tendency*) atau nilai rata-rata distribusinya, dan varians merupakan ukuran tebaran (*dispersion*), atau derajat tersebarnya distribusi tersebut di sekitar meannya. Mean ini, *μ*, atau nilai harapan ini, *E* (*X*) dihitung dengan



Gambar B-3 Fungsi Densitas Probabilitas dan Fungsi Distribusi untuk Variabel Kontinu.

$$\mu \text{ atau } E[X] = \sum_x x \cdot p(x)$$

dan variansnya ditandai dengan σ^2 atau dengan $V[X]$:

$$\sigma^2 \text{ atau } V[X] = \sum (X - E[X])^2 \cdot p(x)$$

Akar kuadrat dari variansnya dikenal sebagai deviasi standar dari distribusinya:

$$\sigma = S[X] = V[X]^{1/2}$$

Distribusi-distribusi statistik bermanfaat dalam memahami banyak proses dalam teknik lalu-lintas. Distribusi-distribusi tersebut dapat dikategorikan ke dalam dua cara: (1) distribusi diskrit atau cacah dan (2) distribusi kontinu.

2.3.1 Distribusi Diskrit Pada distribusi diskrit, variabelnya adalah banyaknya kejadian—misalnya, banyaknya kecelakaan dalam setahun. Variabel-variabel acak ini mengambil nilai-nilai hasil suatu percobaan. Apabila banyaknya dapat dihitung, kita mengacunya sebagai “diskrit.” Kita akan memperhatikan distribusi-distribusi diskrit berikut: (1) seragam, (2) binomial, (3) poisson, dan (4) binomial negatif (Pascal).

Distribusi Seragam Diskrit Distribusi seragam diskrit menguraikan percobaan-percobaan yang memiliki sejumlah terhingga N hasil yang ekui-probabel. Sebagai contoh, pelemparan koin yang ideal atau penggelindingan dadu termasuk ke dalam kategori ini. Umumnya,

$$p(x) = \frac{1}{N} \text{ untuk semua } x$$

Contoh 1

Hitunglah mean, varians, deviasi standar dari sebuah dadu.

Penyelesaian

$$E[X] = (1)\left(\frac{1}{6}\right) + (2)\left(\frac{1}{6}\right) + \dots + (6)\left(\frac{1}{6}\right) = \frac{21}{6} = 3,50$$

$$V[X] = (1 - 3,50)^2 \left(\frac{1}{6}\right) + (2 - 3,50)^2 \left(\frac{1}{6}\right) + \dots + (6 - 3,50)^2 \left(\frac{1}{6}\right) = 2,92$$

$$S[X] = \sqrt{2,92} = 1,71$$

Distribusi Binomial Suatu distribusi binomial didasarkan pada pengandaian bahwa setiap percobaan hanya memiliki dua hasil yang mungkin, yang saling terpisah—misalnya, sukses atau gagal, kepala atau ekor, rusak atau tidak-rusak. Distribusi binomial ialah

$$p(x) = \frac{n!}{x!(n-x)!} p^x q^{n-x}$$

meannya sama dengan

$$E[X] = np$$

dan variansnya sama dengan

$$V[X] = npq$$

Perhatikan bahwa distribusi Bernoulli merupakan satu kasus khusus dari distribusi binomial untuk $n = 1$.

Contoh 2

Petugas polisi mengamati bahwa satu dari lima pengendara-mobil yang melanggar batas kecepatan tertangkap-basah. Berapakah probabilitas bahwa seorang pengendara yang melanggar batas kecepatan sepuluh kali akan tertangkap-basah persis satu kali? Tidak sama sekali?

Penyelesaian

Jika p merupakan probabilitas tertangkap-basah, dan q merupakan probabilitas tidak tertangkap-basah, maka,

$$p = \frac{1}{5} = 0,2; q = 1 - p = 1 - 0,2 = 0,8; n = 10$$

$$P(1) = \frac{10!}{1!9!} = (0,2)^1 (0,8)^9 = 0,268 = \text{probabilitas tertangkap-basah persis satu kali}$$

$$P(0) = \frac{10!}{0!10!} (0,2)^0 (0,8)^{10} = 0,108 \text{ probabilitas tidak tertangkap-basah sama sekali}$$

$$\text{Mean banyaknya tertangkap-basah} = (p)(n) = (0,2)(10) = 2$$

$$\text{Varians tertangkap-basah} = (p)(q)(n) = 1,6$$

$$\text{Deviasi standar tertangkap-basah} = \sqrt{1,6} = 1,265$$

Distribusi Poisson Sebagai satu penghampiran (*approximation*) terhadap distribusi binomial, apabila n besar dan p kecil, kita memperoleh distribusi Poisson. Distribusi ini memberikan probabilitas x “sukses” dalam suku-suku parameter tunggal, m , dengan m merupakan banyaknya “sukses” harapan dalam proses yang sedang dianalisis tersebut. Dalam teknik lalu-lintas distribusi ini memberikan probabilitas banyaknya sukses yang diamati dalam periode waktu t

$$P(n) = \frac{m^x e^{-m}}{n!}$$

dengan

x = banyaknya sukses harapan dalam waktu t

m = mean banyaknya kemunculan dalam waktu t

Jika m disubstitusi oleh λt , di mana λ merupakan meannya, maka

$$P(n) = \frac{(\lambda t)^n e^{-\lambda t}}{n!}$$

Contoh 3

Laju kedatangan rata-rata kendaraan di sebuah cabang persimpangan yang dikendalikan oleh rambu-berhenti ialah 720 kend/jam. Andaikanlah bahwa kedatangan kendaraan tersebut mengikuti distribusi Poisson, hitunglah (estimasi) probabilitas 0, 1, 2, 3, 4, dan 5 atau lebih kendaraan yang datang selama interval 10-detik.

Penyelesaian

$\lambda = 720$ kend/jam atau 0,2 kend/detik; $t = 10$ detik

$$P(0) = \frac{(0,2 \times 10)^0 e^{-(0,2)(10)}}{0!} = 0,135$$

$$P(1) = \frac{(0,2 \times 10)^1 e^{-(0,2)(10)}}{1!} = 0,271$$

Dengan cara yang serupa $P(2) = 0,271$; $P(3) = 0,180$; $P(4) = 0,090$; dan $P(5) = 1 - P(n > 5) = 1 - 0,135 - 0,271 - 0,271 - 0,180 - 0,090 = 0,053$

Distribusi Binomial Negatif (Pascal) Pada distribusi binomial banyaknya coba-coba (*trial*) n adalah tetap dan banyaknya sukses, x , terdistribusi. Tetapi pada distribusi binomial negatif, banyaknya sukses, x , tetap dan banyaknya coba-coba, n , yang dibutuhkan untuk memperoleh n sukses akan terdistribusi, seperti yang ditunjukkan berikut ini:

$$P(x) = \frac{(x + k - 1)!}{(k - 1)! (x)!} = p^k q^x$$

dengan

$P(x)$ = probabilitas bahwa x kegagalan muncul dalam n coba-coba sebelum memperoleh k sukses

p = probabilitas sukses pada percobaan yang diketahui tadi

$q = 1 - p$

k = banyaknya sukses dalam n percobaan, dengan percobaan terakhir berupa sukses

Di sini nilai dan varians harapannya ialah

$$E(x) = \frac{kq}{p}$$

$$V(x) = \frac{kq}{p^2}$$

Contoh 4

Seorang teknisi perlu memasang tiga rambu jalan segera. Selama ini yang ia alami ialah ketika dia pergi ke gudang, kira-kira 60% dari rambu itu telah siap digunakan, sementara 40% perlu perubahan sebelum digunakan. Jika gudang tersebut memiliki lima rambu jalan dalam persediaannya, berapakah probabilitas bahwa rambu ketiga siap segera digunakan akan diperoleh pada pemeriksaan terakhir?

Penyelesaian

$k = 3$ rambu siap untuk digunakan

$n = 5$ rambu di dalam gudang

$x = n - k = 2$

$p = 0,6; q = 0,4$

$$P(x) = \frac{(x + k - 1)!}{(k - 1)! (x)!} p^k q^x = \frac{4}{2!} (0,6)^3 (0,4)^2 = 0,207$$

Terdapat probabilitas sebesar 0,207 bahwa rambu ke-5 akan melengkapi perangkat rambu tersebut menjadi tiga rambu yang dapat digunakan segera.

2.3.2 Distribusi Kontinu Kategori distribusi ini digunakan untuk menjelaskan variabel-variabel yang dapat memiliki sebarang nilai dalam suatu kisaran (*range*) nilai. Hanya dua distribusi kontinu yang akan diuraikan.

Distribusi Eksponensial Negatif Distribusi eksponensial negatif digunakan untuk menguraikan interval di antara kejadian dan dapat secara mudah diperoleh dari distribusi Poisson. Sebagai contoh, jika kendaraan datang di suatu persimpangan sesuai dengan distribusi Poisson, waktu antar-kedatangan akan terdistribusi secara eksponensial. Probabilitas bahwa suatu interval waktu, T , berlalu tanpa ada kendaraan yang lewat akan sama seperti apabila $x = 0$ dalam waktu T .

$$\therefore P(t \geq T) = P(x = 0 \text{ dalam waktu } T) = \frac{m^0 e^{-m}}{0!} = e^{-m} = e^{-\lambda T}$$

Fungsi distribusi probabilitasnya adalah $f(t) = e^{-T}$.

Contoh 5

Kendaraan pada rambu berhenti membutuhkan *headway* 7-detik pada arus lalu-lintas jalan utama untuk menyeberangi aliran tersebut. Jika laju arus aliran utama ialah 1000 kendaraan per jam, berapakah probabilitas bahwa akan ada *headway* yang sama dengan 7 detik atau lebih lama lagi?

Penyelesaian

$T = 7$ detik

$\lambda = 1000 \text{ kend/jam} = 0,278 \text{ kend/detik}$

$$\begin{aligned} P(t \geq 7) &= e^{-\lambda T} \\ &= e^{-(0,278)(7)} = 0,143 \end{aligned}$$

Ini berarti bahwa 14,3% dari *headway-headway* akan lebih besar daripada 7 detik.

Distribusi Normal Distribusi normal—distribusi paling penting untuk variabel kontinu—memiliki sejumlah penerapan yang bermanfaat dalam teknik lalu-lintas. Persamaan distribusi normalnya diberikan dalam suku-suku mean, μ , dan deviasi standar, σ , sebagai berikut:

$$f(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \exp \left[-\frac{1}{2} \left(\frac{x - \mu}{\sigma} \right)^2 \right] \quad \text{untuk } -\infty < x < +\infty$$

Akan tetapi, untuk penerapan praktis, digunakanlah tabel-tabel distribusi normal standar dan perubahan variabel. Jika variabel x didistribusikan sebagai $N(\mu, \sigma)$, variabel

$$Z = \frac{x - \mu}{\sigma}$$

didistribusikan sebagai $N[0, 1]$, dan distribusi kumulatif $N[0, 1]$ diberikan dalam tabel standar, dengan nilai Z yang diketahui.

Kurva normalnya berbentuk-lonceng dan simetris terhadap alas yang takterhingga, dan meannya terletak di tengah-tengah. Oleh sebab itu akan lebih mudah untuk mengukur luas di bawah kurva itu dalam nilai- z (yang berupa pecahan atau kelipatan deviasi standar yang diukur dari meannya).

Contoh 6

Harapan hidup dari bola-bola lampu lalu-lintas terdistribusi secara normal dengan mean 1500 jam dan deviasi standar 75 jam. (1) Berapakah probabilitas bahwa sebuah lampu akan bertahan antara 1500 dan 1650 jam? (2) Berapakah persentase bola yang bertahan antara 1485 dan 1500 jam?

Penyelesaian

Nilai Z untuk 1500 ialah 0, dan nilai Z untuk 1650 ialah $(1650 - 1500)/75 = 2$; dari tabel-tabel probabilitasnya sama dengan 0,4772. Nilai Z untuk 1485 ialah $(1485 - 1500)/75 = -0,2$; dari tabel, probabilitasnya sama dengan 0,0793 atau 7,93%. Oleh sebab itu probabilitas untuk (1) ialah 47,72% dan untuk (2) ialah 7,93%.

Contoh 7

Suatu sampel yang terdiri atas 363 pengamatan atas kecepatan spot dilakukan pada jalan raya luar-kota dua-lajur. (1) Analisislah pengamatan itu untuk nilai-nilai signifikan: kecepatan-mean-waktu, deviasi standar, dan kesalahan standar meannya. (2) Gambarlah sebuah histogram dan kurva distribusi frekuensi kumulatif, dengan menunjukkan nilai-nilai yang penting.

Penyelesaian

Data ini pertama-tama dikelompokkan menjadi interval 4 mil per jam. Interval kelas yang ukurannya mudah dapat dicari dengan menggunakan yang berikut:

$$\text{Interval kelas} = \frac{\text{Wilayah dalam mil perjam}}{1 + 3,322 \log_{10} n}$$

Rumus ini akan memberikan interval-kelas 4,2 mil per jam; dari sini diambil 4 mil per jam. Perhatikan bahwa pertengahan interval kelas itu sebaiknya berupa bilangan bulat. Hasil-hasilnya telah digunakan untuk melukis histogramnya dan kurva distribusi frekuensi kumulatifnya. Kurva-kurva ini bermanfaat dalam menentukan kecepatan persentil. Sebagai contoh, kecepatan persentil ke-98 dapat digunakan sebagai kecepatan desain dalam desain geometrik. Kadang-kadang persentil ke-85 digunakan untuk menentukan batas kecepatannya. Kecepatan persentil ke-50 atau kecepatan median memperlihatkan bahwa terdapat kendaraan yang bertambah cepat sebanyak kendaraan yang bertambah lambat.

Untuk dapat melakukan analisis ini, langkah pertama ialah mengelompokkan datanya ke dalam interval kelas-kecepatan (seperti yang ditunjukkan pada tabel berikut) yang dikelompokkan ke dalam interval 4 mil per jam. Langkah kedua ialah menganalisis data kecepatannya, dengan menjabarkan beberapa karakteristik penting (yang ditunjukkan pada tabel tersebut) seperti

kecepatan-mean-waktu, varians sampel, deviasi standar. Penjelasan istilah-istilah ini diberikan pada Subbab 3. Data dari tabel tersebut telah digunakan untuk melukis histogramnya dengan sumbu mendatar menggambarkan batas-batas kelas-kecepatan dan sumbu tegak menggambarkan persentase frekuensinya. Histogram ini dan kurva teoretis kasar ditunjukkan pada Gambar B-E7(a), dan kurva frekuensi kumulatif ditunjukkan pada Gambar B-E7(b).

Batas Bawah	Pertengahan u_i	Batas Atas	Banyaknya f_i	Frekuensi, %	Kumulatif, %	$f_i u_i$	$f_i u_i^2$
26	28	29,9	9	2,5	2,5	252	7.056
30	32	33,9	74	20,4	22,9	2.368	75.776
34	36	37,9	79	21,7	44,6	2.844	102.384
38	40	41,9	75	20,7	65,3	3.000	120.000
42	44	45,9	66	18,2	83,5	2.904	127.776
46	48	49,9	33	9,1	92,6	1.584	76.032
50	52	53,9	17	4,7	97,2	884	45.968
54	56	57,9	6	1,6	98,9	336	18.816
58	60	61,9	1	0,3	99,2	60	3.600
62	64	65,9	3	0,8	100,0	192	12.288
			363			14.424	589.696

$$\text{Kecepatan-mean-waktu: } u_i = \frac{\sum f_i u_i}{n} = \frac{14.424}{363} = 39,736 \text{ mph}$$

$$\begin{aligned} \text{Varians sampel: } s^2 &= \frac{\sum f_i (u_i)^2 - \frac{1}{n} (\sum f_i u_i)^2}{n - 1} = \frac{589.696 - \frac{1}{363} (14.424)^2}{363 - 1} \\ &= \frac{16.550,6}{362} = 45,72 \text{ mil per jam} \end{aligned}$$

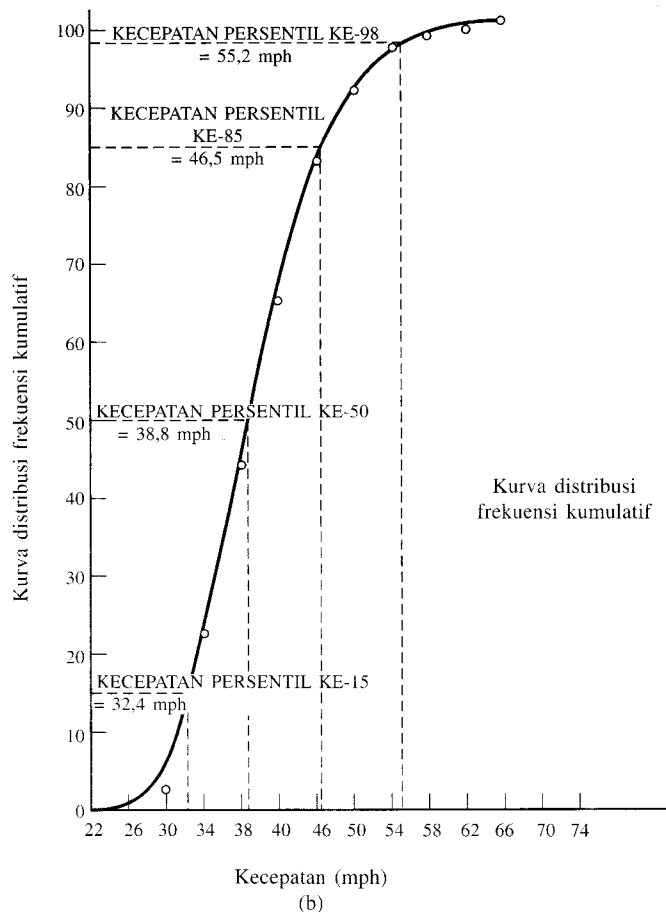
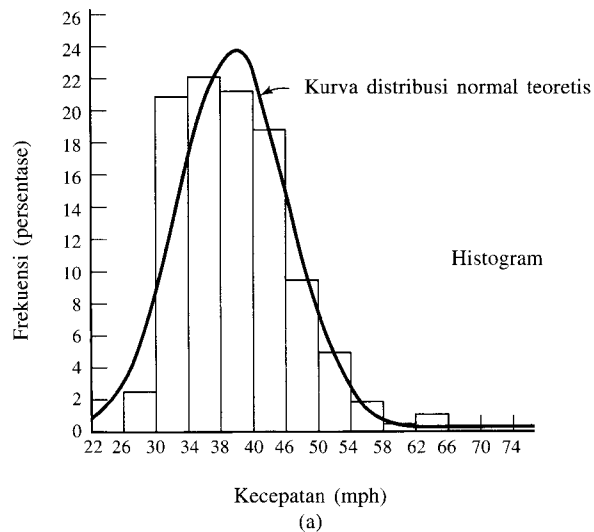
$$\text{Deviasi standar: } = \sqrt{s^2} = 6,76 \text{ mph}$$

$$\text{Varians mean: } = s_u^2 = \frac{s^2}{n} = \frac{45,72}{363} = 0,126 \text{ mph}$$

$$\text{Kesalahan standar mean: } = s_{\bar{u}} = \sqrt{s_u^2} = \sqrt{0,126} = 0,355 \text{ mph}$$

3. ANALISIS DAN EVALUASI DATA

Dalam praktek teknik lalu-lintas, kita lazim mengumpulkan data dan menganalisis data tersebut. Bagian ini berisi contoh-contoh prosedur yang biasa untuk analisis dan evaluasi demikian yang diterapkan pada data kecepatan spot. Sedikit penjelasan mengenai analisis yang lazim digunakan akan diberikan sesudahnya.



Gambar B-E7 Distribusi Kecepatan Spot.

3.1 Mean dari Kecepatan Rata-rata ($\bar{u}_i$)

Kecepatan rata-rata aritmetik (*mean speed*) merupakan statistik yang paling sering digunakan. Kecepatan rata-rata aritmetik ini merupakan suatu ukuran yang menunjukkan kecenderungan terpusat dari data dan dihitung dari rumus

$$\bar{u} = \frac{(\sum f_i u_i)}{n}$$

dengan

$\bar{u}$ = kecepatan mean atau rata-rata

$\sum f_i u_i$ = jumlah dari frekuensi mean

n = jumlah total kendaraan yang diamati

3.2 Deviasi Standar (s)

Karena kendaraan berjalan pada kecepatan yang berbeda-beda, terdapat suatu penyebaran atau dispersi kecepatan terhadap meannya. Deviasi standar (s) ialah ukuran statistik atas penyebaran ini. Dengan mengandaikan distribusi normal, mean tambah dan kurang satu deviasi standar berisi kira-kira 68% dari kendaraan. Serupa halnya, tambah dan kurang dua deviasi standar berisi 95% dari kendaraan, dan tambah dan kurang tiga deviasi standar berisi 99,8%. Deviasi standar sampel tersebut dihitung pertama-tama dengan menghitung varians sampelnya, dan kemudian mengambil akar kuadratnya sebagai berikut:

$$s^2 = \frac{\sum f_i (u_i)^2 - \frac{1}{n} (\sum f_i u_i)^2}{n - 1} = \text{variens sampel}$$

dan

$$s = \sqrt{s^2} = \text{deviasi standar sampel}$$

3.3 Kesalahan Standar Mean

Mean-mean dari berbagai sampel yang ditarik dari populasi yang sama akan terdistribusi secara normal terhadap mean sesungguhnya dari populasi tersebut dengan distribusi standar $\sigma/\sqrt{n}$, dengan σ merupakan deviasi standar dari keseluruhan populasinya. Pada sampel yang besar ($n \geq 25$), deviasi standar dari sampel s merupakan nilai estimasi yang bagus untuk deviasi standar dari populasinya. Oleh sebab itu,

$$s_{\bar{u}}^2 = \frac{s^2}{n} \text{ atau } s_{\bar{u}} = \sqrt{s_{\bar{u}}^2}$$

dengan

$s_{\bar{u}}^2$ = varians dari mean

$s_{\bar{u}}$ = kesalahan standar mean

s^2 = varians sampel (merupakan estimasi yang bagus untuk σ^2)

3.4 Ukuran Sampel Minimum

Dalam prakteknya kita lazim mengambil ukuran sampel sebanyak 50 atau lebih, di mana dengan ukuran sampel ini kesalahan standar dari meannya biasanya berada dalam batas-batas keakuratan yang dapat diterima. Jika kepresisian dirasa penting, persamaan $s_{\bar{u}}^2 = s^2/n$ dapat digunakan untuk mengestimasi ukuran sampel minimum yang dibutuhkan, dengan menghitung n dan menetapkan nilai $s_{\bar{u}}$ maksimum yang dapat diterima.

4. PENYAMPELAN

Apabila yang sedang dikaji adalah seluruh populasi, seperti semua pengendara di Chicago atau semua pengendara yang berusia di bawah 25 tahun, terbukti bahwa hanya sampel dari keseluruhan populasi sajalah yang dapat diamati. Akan tetapi, semakin besar proporsi sampel terhadap populasinya, semakin besar kemungkinan sampel tersebut menggambarkan karakteristik populasi tersebut. Tetapi sampel-sampel ukuran besar itu mahal dan oleh karena itu sering dilakukan kompromi di antara keduanya.

4.1 Jenis-jenis Sampel

Sampel dapat acak, sistematis, berlapis, sekuensial, dan sebagainya. Penyampelan acak merupakan yang paling lazim dan dilakukan sedemikian rupa sehingga setiap anggota populasi memiliki peluang yang sama untuk dipilih. Dalam uraian-uraian selanjutnya, kita akan menganggap bahwa sampel dipilih secara acak.

Distribusi mean harus ditentukan ketika menyampel suatu populasi normal. Ketika kita mengambil sampel acak dari suatu populasi, kita bisa memperoleh informasi tentang distribusi populasinya. Statistik $\bar{x}$ —mean sampel—dan s^2 —varians sampel—memberikan suatu uraian tentang sampelnya, tetapi apakah keduanya juga menggambarkan parameter populasi μ dan σ^2 yang bersesuaian? Aturan berikut membuat masalah ini menjadi jelas. Jika suatu populasi memiliki distribusi normal dengan mean μ dan deviasi standar σ , maka mean sampelnya $\bar{x}$, yang didasarkan pada sampel acak yang berukuran n yang ditarik dari suatu populasi takterhingga, juga akan memiliki distribusi normal dengan mean μ dan deviasi standar $\sigma/\sqrt{n}$. Distribusi ini disebut distribusi penyampelan dari mean tersebut. Deviasi standar distribusi $\bar{x}$ disebut kesalahan standar dari mean, dan ditandai dengan $\sigma_{\bar{x}}$. Jika nilai dari σ tidak diketahui, kesalahan standar dapat dianggap akan diberikan oleh $s/\sqrt{n}$, apabila s merupakan deviasi standar sampelnya. Prinsip ini akan diperjelas melalui contoh berikut.

Contoh 8

Denda senegara-bagian yang dikenakan untuk pelanggaran batas kecepatan didistribusikan secara normal dengan mean \$80 dan deviasi standar \$15. Berapakah probabilitas bahwa, jika sampel yang terdiri atas 100 pengendara dipilih dan telah didenda, denda mean akan sebesar \$75?

Penyelesaian

$$\mu = 80, \sigma = 15$$

$$\sigma_{\bar{x}} = \frac{\sigma}{\sqrt{n}} = \frac{15}{\sqrt{100}} = 1,5$$

dengan nilai-Z sebesar $(75 - 80)/1,5 = -3,33$ sebagai probabilitas bahwa mean sampel kita akan melebihi \$75 adalah 0,9996 atau 99,96%.

4.2 Kepercayaan

Ketika kita menggunakan hasil pengukuran yang berasal dari sampel, kita tidak dapat mengatakan berapa mean populasinya. Di lain pihak, kita dapat mengatakan dengan kepercayaan (*confidence*) tertentu bahwa mean populasinya terletak dalam interval tertentu. Sebagai contoh, percaya 95% berarti bahwa terdapat probabilitas 95% bahwa sampel yang dikumpulkan dari suatu populasi akan menghasilkan interval kepercayaan yang di dalamnya terdapat mean populasi. Suatu estimasi atas parameter populasi yang diberikan oleh dua angka yang di antaranya parameter tersebut dianggap berada, disebut suatu *estimasi interval dari parameternya*.

Dalam mengestimasi suatu ukuran populasi, katakanlah μ , dengan ukuran sampel, katakanlah x^- , kita dapat memanfaatkan distribusi sampel dari $\bar{x}$ untuk membuat suatu interval terhadap $\bar{x}$ dan, dengan kepercayaan tertentu, menyatakan bahwa μ terletak dalam interval tersebut. Untuk interval kepercayaan 95%, pernyataannya akan benar 95% dari setiap estimasi. Dengan kata lain, jika kita menarik banyak sampel dan menghitung $\bar{x}$, interval kepercayaan dalam sekitar 95 kasus dari 100 kasus akan berisi μ . Titik-titik ujung interval kepercayaan itu disebut *batas-batas kepercayaan*, dan frekuensi relatif yang dengan itu intervalnya akan berisi μ disebut *koefisien kepercayaan*.

Jika kesalahan standar dari suatu statistik diketahui, suatu interval kepercayaan yang kira-kira 95% dapat dibuat dengan menggunakan sebagai batas-batas kepercayaan, statistik plus atau minus dua kali kesalahan standarnya. Sebagai contoh, batas-batas kepercayaan untuk mean ialah $x \pm 2\sigma_{\bar{x}} = \bar{x} \pm 2\sigma/\sqrt{n}$, dengan σ merupakan deviasi standar dari suatu pengamatan tunggal. Jika σ diketahui, kita dapat menggunakan batas kepercayaan, $4\sigma/\sqrt{n}$, untuk menentukan ukuran sampel, n .

Contoh 9

Seorang perencana ingin menentukan mean jumlah mil yang dijalani para komuter per pekan menuju tempat kerja mereka. Hasil wawancara atas sampel yang banyaknya 500 orang ialah sebagai berikut: $x = 16.475$ mil dan $\Sigma(x - \bar{x})^2 = 48.907$. Tentukanlah estimasi interval kepercayaan 98%.

Penyelesaian

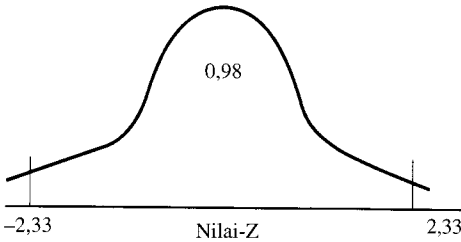
Mean sampel $\bar{x} = \frac{\sum x}{n} = \frac{16.475}{500} = 32,95$

Deviasi standar $s = \sqrt{\frac{\sum (x - \bar{x})^2}{n - 1}} = \frac{48.907}{500 - 1} = 9,9$

Kita menggunakan $s = 9,9$ sebagai estimasi untuk deviasi standar populasi untuk mencari deviasi standar dari mean sampel tersebut

$\sigma_{\bar{x}} = \frac{\sigma}{\sqrt{n}} = \frac{9,9}{\sqrt{500}} = 0,443$

Kita dapat yakin 98% bahwa mean banyaknya mil per pekan yang dijalani komuter tersebut berkisar di antara $32,95 \pm 2,33(0,443) = 32,95 \pm 1,03 =$ antara 31,92 dan 33,98 mil pekan. Gambar B-E9 menunjukkan distribusi normal dengan nilai-Z sebesar $\pm 2,33$ ditandai pada gambar tersebut.



Gambar B-E9 Nilai-Z.

Sebuah tabel yang memberikan nilai-nilai yang bersesuaian dengan berbagai tingkat kepercayaan yang digunakan dalam praktek ditunjukkan di bawah ini.

Tingkat kepercayaan	99,73	99,00	98,00	95,45	95,00	90,00	68,27
Nilai-Z	3,00	2,58	2,33	2,00	1,96	1,65	1,00

Nilai-Z ini dapat juga dibaca dari tabel luas kurva Normal.

Contoh 10

Dalam suatu studi atas 363 hasil pengamatan kecepatan spot dari kendaraan, seorang peneliti telah menentukan kecepatan mean hasilnya sebagai 39,7 mil per jam, dengan deviasi standar sebesar 6,8 mil per jam. Berapakah interval kepercayaan 95% untuk kecepatan mean populasi tersebut? (Andaikan bahwa data-data pengamatan itu terdistribusi secara normal.)

Penyelesaian

$$n = 363; \bar{x} = 39,7 \text{ mil per jam}; s = 6,8 \text{ mil per jam}$$

Karena distribusinya mengikuti distribusi normal dengan mean μ dan deviasi standar $\sigma/\sqrt{n}$ (yang merupakan kesalahan standar dari meannya)

$$\sigma_{\bar{x}} = \frac{s}{\sqrt{n}} = \frac{6,8}{\sqrt{363}} = 0,36$$

$\bar{x}$ memiliki distribusi normal dengan mean μ , deviasi standar sebesar 0,36 untuk tingkat kepercayaan 95%, dan Z memiliki nilai sebesar 1,96. Oleh sebab itu mean populasinya memiliki nilai sebesar $\bar{x} \pm 1,96 \sigma_{\bar{x}}$ atau

$$39,7 + (1,96)(0,36) \quad \text{dan} \quad 39,7 - (1,96)(0,36)$$

atau 40,4 dan 39,0 mil per jam.

5. PENGUJIAN SIGNIFIKANSI

5.1 Dasar-dasar

Pengujian signifikansi atau hipotesis merupakan suatu prosedur yang menggunakan penyampelan untuk memutuskan apakah akan menerima atau menolak suatu hipotesis. Sebagai contoh, seorang ahli teknik mungkin saja ingin mengetahui apakah tingkat kecelakaan di suatu persimpangan telah sangat berkurang setelah mengeluarkan sejuta dollar untuk peningkatannya.

Pengujian signifikansi berawal dengan mendefinisikan hipotesisnya. Sebagai contoh, hipotesis nihil¹ (H_0) bisa saja mempostulatkan bahwa “tidak ada pengaruh,” atau “tidak ada perbedaan antara kedua set sampel,” atas kecelakaan sebelum dan setelah peningkatan dilaksanakan. Hipotesis alternatif (H_1) bisa saja mempostulatkan bahwa terdapat perbedaan yang nyata pada kedua perangkat sampel tersebut. Untuk melaksanakan pengujian ini, kita memilih tingkat signifikan yang ditandai dengan α , yang merupakan, misalnya, probabilitas membuat keputusan yang salah apabila hipotesis nihilnya benar. Tingkat signifikansi setinggi 1% atau 5% lazim digunakan.

Prosedur untuk pengujian ini membutuhkan suatu aturan untuk menerima atau menolak hipotesis nihil, di mana untuk ini sebuah estimator dari hipotesis tersebut dipilih dan set (himpunan) dari semua nilai yang mungkin dari suatu estimator dibagi menjadi dua set, di mana satu berada di daerah penolakan, yang disebut daerah kritis, dan yang lain berada di daerah

penerimaan. Jika nilai estimator masuk ke dalam *daerah kritis*, hipotesis nihilnya ditolak. Perhatikan bahwa probabilitas bahwa estimator akan masuk ke dalam daerah kritis merupakan tingkat signifikansi pengujian tersebut. Terdapat dua jenis kesalahan (*error*) dalam mencapai suatu keputusan: (1) kesalahan Jenis I, di mana kita menolak hipotesis nihil padahal kenyataannya benar, dan (2) kesalahan Jenis II, di mana kita menerima hipotesis nihil padahal kenyataannya memang salah. Probabilitas membuat kesalahan jenis I sama seperti tingkat signifikansi, α . Probabilitas membuat kesalahan jenis II dilambangkan dengan β .

Lokasi dari daerah kritis dapat mengarah ke dua jenis pengujian: bersisi-satu atau bersisi-dua, yang tergantung pada di mana daerah kritis itu berada.

Contoh 11

Kecepatan-kecepatan spot yang diamati selama setahun pada sebuah jalan tol ternyata memiliki distribusi normal dengan mean 49,71 mil per jam. Akan tetapi, peralatan yang agak baru telah memperlihatkan bahwa kecepatan mean ialah 48,03 dengan deviasi standar 9,32 mil per jam, yang didasarkan pada 100 pengamatan. Adakah bukti bahwa (1) peralatan baru itu rusak dan (b) peralatan baru itu memperlihatkan suatu kecepatan yang lebih rendah daripada kecepatan sebenarnya?

Penyelesaian

$\mu = 49,71$ mil per jam; $\bar{x} = 48,03$ mil per jam; $s = 9,32$ mil per jam, dan $n = 1000$

$$\sigma_{\bar{x}} = \frac{\sigma}{\sqrt{100}} = \frac{9,32}{10} = 0,932 \text{ (diasumsikan } \sigma = s \text{)}$$

1. Anggaplah sebagai hipotesis nihil bahwa peralatan baru itu tidak rusak; maka $H_0: \mu = 49,71$ mil per jam. Dalam hal ini kita tertarik untuk menentukan apakah nilai yang diamati itu berbeda signifikan dari mean populasinya dan oleh sebab itu apakah kedua ekor dari kurva distribusi normalnya dilibatkan; $\alpha/2 = 0,025$ untuk setiap sisi. Batas-batas daerah kritisnya ialah

$$\bar{x}_1 = \mu + Z \sigma_{\bar{x}} \quad \text{dan} \quad \bar{x}_2 = \mu - Z \sigma_{\bar{x}}$$

Nilai Z yang bersesuaian dengan luas 0,025 pada kedua ekornya ialah 1,96:

$$\therefore \bar{x}_1 = 49,71 + (1,96)(0,932) = 51,54 \text{ mph}$$

$$\therefore \bar{x}_2 = 49,71 - (1,96)(0,932) = 47,88 \text{ mph}$$

Nilai $\bar{x}$ yang diamati (48,03 mil per jam) berada di antara 51,54 dan 47,88 mil per jam. Maka kita dapat menerima hipotesis nihil, H_0 , bahwa tidak ada perbedaan signifikan antara nilai-nilai kecepatan yang dicatat oleh peralatan baru itu dan mean sebenarnya, dengan tingkat signifikansi 5%.

2. Pada bagian ini, kita hanya ingin mengetahui apakah peralatan baru itu menunjukkan kecepatan yang lebih rendah daripada kecepatan sebenarnya. Di sini, hanya ekor sisi-kiri dari kurva itu yang berlaku.

$$H_0: \mu = 49,71 \text{ mil per jam}$$

$$H_1: \mu < 49,71 \text{ mil per jam}$$

Luas di bawah daerah kritis pada ekor sisi-kiri ialah

$$\alpha = 0,05 \text{ dan batasnya diberikan oleh}$$

$$\bar{x}_1 = \mu - Z \sigma_{\bar{x}}$$

$$= 49,71 - (1,645)(0,932) = 48,18 \text{ mil per jam}$$

Nilai ini berada dalam daerah kritis, dan oleh sebab itu kita menolak hipotesis nihil (H_0) tersebut dan menerima (H_1), yang menunjukkan bahwa nilai-nilai kecepatan yang diperlihatkan oleh peralatan baru itu secara signifikan lebih rendah daripada mean sebenarnya pada tingkat signifikansi 5%.

5.2 Pengujian Sampel Kecil

Seperti yang telah kita lihat, apabila ukuran sampelnya besar ($n > 25$), kita asumsikan $\sigma = s$. Akan tetapi, apabila ukuran sampelnya kecil kita dapat menggunakan distribusi student' t karena kita tidak perlu mengetahui σ . Satu-satunya asumsi ialah bahwa hasil-hasil pengamatan terdistribusi Normal.

Contoh 12

Kecepatan mean dari 21 kendaraan yang diamati ialah 65 mil per jam dan deviasi standarnya 8 mil per jam. Berilah interval kepercayaan 95% untuk kecepatan mean sebenarnya kendaraan-kendaraan ini di lokasi tersebut.

Penyelesaian

$$n = 21; \bar{x} = 65; s = 8$$

Untuk interval kepercayaan 95%, luas kedua ekornya masing-masing ialah 0,025. Derajat kebebasannya ialah $\nu = n - 1 = 20$ dan luas ekornya sama dengan 2,07. Interval kepercayaannya diberikan oleh kedua nilai μ_1 dan μ_2 sebagai berikut:

$$\mu_1 = \bar{x} \pm t_c \frac{s}{\sqrt{n}} = 65 \pm (2,07) \left(\frac{8}{\sqrt{21}} \right) = 68,61 \text{ dan } 61,39$$

Dengan kepercayaan 95%, mean sebenarnya terletak di antara 68,61 dan 61,39 mil per jam.

5.3 Pengujian Chi-Square

Salah satu pertanyaan yang sangat penting dalam teknik lalu-lintas ialah apakah sebagian pola data yang diamati cocok dengan suatu distribusi tertentu. Walaupun kecocokan yang sempurna tidak diharapkan, kita dapat memeriksa “kecocokan terbaik” (*goodness of fit*) dari data tersebut. Satu cara untuk melakukan pemeriksaan ini ialah memboboti setiap selisihnya. Pembobotan seperti itu dilakukan dengan membagi setiap selisih dengan nilai harapannya. Jumlah selisih terboboti ini disebut *chi-square* dan ditandai dengan χ^2 .

$$\chi^2 = \sum \frac{(\text{dicari} - \text{didapat})^2}{\text{didapat}}$$

Contoh 13

Seorang ahli teknik mengamati bahwa 5 mil yang berurutan pada suatu jalan tol di luar kota setiap tahun memiliki banyaknya kecelakaan sebagai berikut

No. mil	1	2	3	4	5
Kecelakaan	43	29	52	34	48

Karena bagian-bagian dari jalan tol ini serupa dalam geometrik dan volume jalan rayanya, adakah bukti yang cukup untuk menunjukkan bahwa lokasi lah yang menentukan? Ujilah pada tingkat signifikansi 5% dan 10%.

Penyelesaian

$43 + 29 + 52 + 34 + 48 = 206$ kecelakaan

$\therefore$ Banyaknya kecelakaan yang diperkirakan $= 206/5 = 41,2$

$$\chi^2 = \frac{(43 - 41,2)^2}{41,2} + \frac{(29 - 41,2)^2}{41,2} + \dots + \frac{(48 - 41,2)^2}{41,2} = 8,903$$

$d_f = 5 - 1 = 4$ dan $H_0 =$ kecocokan terbaik.

χ^2 untuk $d_f = 4$, dan tingkat signifikansi 5% = 9,488, karena $8,903 < 9,488$, $\therefore H_0$ benar
 χ^2 untuk $d_f = 4$, dan tingkat signifikansi 10% = 7,779, tetapi $8,903 > 7,779$, $\therefore H_0$ haruslah ditolak.

Jika sang insinyur bersedia menerima peluang 10% melakukan kesalahan jenis I, maka tersedia cukup bukti untuk mengklaim bahwa lokasi dari setiap mil memang berpengaruh.

6. ANALISIS REGRESI

Ada begitu banyak keadaan dalam teknik lalu-lintas dan perencanaan transportasi di mana kita ingin menyelidiki pertanyaan tertentu: Sebagai contoh, berapa besarkah satu variabel mempengaruhi yang lain? Dalam banyak keadaan, satu kuantitas (yang disebut *variabel bebas*, x) memiliki pengaruh besar (atau kecil) atas kuantitas lain (yang disebut *variabel tak-bebas*, y). Begitu hubungan ini diketahui, kita dapat memprediksi nilai y jika kita mengetahui nilai x .

6.1. Penurunan Persamaan-persamaan Dasar untuk Regresi Linear

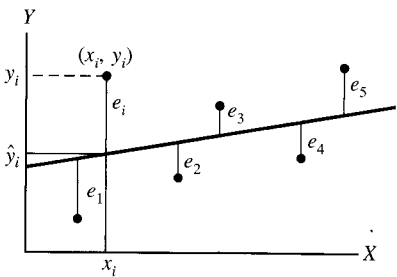
Jika variabel tak-bebasnya Y dan variabel bebasnya X , hubungan linear antara keduanya dapat ditulis sebagai

$$Y = a + bX + e$$

dengan a dan b merupakan konstanta dan e merupakan suku yang menandakan kesalahan acak. Kesalahan ini akan kecil jika kedua variabelnya berhubungan erat. Dengan demikian jika nilai-nilai yang diamati X dan Y ialah $(x_1, y_1), (x_2, y_2), \dots, (x_n, y_n)$ maka

$$Y_i = a + bx_i + e_i$$

dengan subskrip i mengacu pada titik ke- i seperti yang ditunjukkan pada Gambar B-4.



Gambar B-4 Regresi Linear.

Permasalahannya adalah kita harus mengetahui nilai estimasi a dan b , sedemikian rupa sehingga penjumlahan dari semua e_i akan sekecil mungkin. Ini dilakukan dengan metode kuadrat terkecil. Dengan demikian a dan b dipilih untuk membuat $R = \sum_{i=1}^n e_i^2$ minimum, dengan n merupakan banyaknya titik yang diamati. Ini dilakukan dengan mendiferensialkan E terhadap a dan b dan kemudian menyamakan $\partial R/\partial a$ dan $\partial R/\partial b$ dengan nol.

$$e_i = y_i - a - bx_i \text{ dan } R = \sum_{i=1}^n (y_i - a - bx_i)^2$$

$$\partial R/\partial a = 2na - \sum y_i + 2b \sum x_i = 0 \quad \therefore a = \bar{y} - b\bar{x}$$

$$\text{dan } \partial R/\partial b = 2b \sum x_i^2 + 2a \sum x_i - 2 \sum x_i y_i = 0$$

$$\therefore b \sum x_i^2 + a \sum x_i = \sum x_i y_i.$$

Kita sekarang mensubstitusikan nilai a , dan mengubah susunan suku-sukunya:

$$b = \frac{\sum x_i y_i - n\bar{x}\bar{y}}{\sum x_i^2 - n\bar{x}^2} = \frac{\sum (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{(\sum x_i - \bar{x})^2}$$

Perhatikan bahwa nilai-nilai a dan b yang diperoleh dari persamaan di atas adalah estimasi dari a dan b dan masing-masing sama dengan $\hat{a}$ dan $\hat{b}$.

Kita sekarang ingin mengukur seberapa baik suatu hubungan yang terdapat di antara X dan Y . Jumlah $TSS = \sum (y_i - \bar{y})^2$ disebut jumlah total dari deviasi-deviasi kuadrat dari mean (atau variasi total). Jumlah ini merupakan suatu ukuran derajat penyebaran pengamatan y , dan

$$\sum (y_i - \bar{y})^2 = \sum (y_i - \hat{y})^2 + \sum (\hat{y}_i - \bar{y})^2$$

atau jumlah dari kuadrat-kuadrat deviasi dari mean atau variasi total sama dengan jumlah kesalahan dari kuadrat (atau variasi yang takdijelaskan) ditambah jumlah kuadrat akibat regresi (atau variasi yang dijelaskan). Kecocokan terbaik suatu garis regresi naik sebanding dengan variasi total yang dijelaskan oleh garis tersebut, dan ini diwakili oleh koefisien determinasi (r^2):

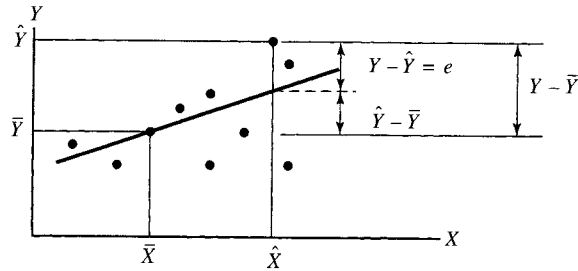
$$r^2 = \frac{TSS - ESS}{TSS} = \frac{\sum (\hat{y}_i - \bar{y})^2}{\sum (y_i - \bar{y})^2}$$

6.2 Koefisien Determinasi (r^2) dan Koefisien Korelasi (r)

Koefisien determinasi (r^2) mengukur kuantitas dari kecocokan garis regresi. Proses ini paling baik diperlihatkan dengan cara melihat Gambar B-5 dan tabel di bawah ini.

$$TSS = ESS + RSS$$

Sumber	Jumlah Kuadrat	Derajat Kebebasan	Simbol
Dijelaskan	$\sum (\hat{y}_i - \bar{y})^2$	1	(RSS) Jumlah kuadrat regresi
Takdijelaskan	$\sum (y_i - \hat{y})^2$	$n - 2$	(ESS) Jumlah kuadrat takdijelaskan
Total	$\sum (y_i - \bar{y})^2$	$n - 1$	(TSS) Jumlah kuadrat total



Gambar B-5 Regresi Linear.

$$r^2 = \frac{\text{Penjumlahan Kuadrat Regresi}}{\text{Penjumlahan Kuadrat Total}}$$

Nilai-nilai r^2 terletak di antara 0 dan 1, dan semakin dekat nilai tersebut ke 1, semakin bagus persamaannya.

$$r^2 = \frac{\sum(\hat{Y} - \bar{Y})^2}{\sum(Y - \bar{Y})^2}$$

dan r , akar kuadrat r^2 disebut *koefisien korelasi*.

Pernyataan matematis untuk $\hat{b}$ dapat disederhanakan dengan mensubstitusikan

$$x = X - \bar{X} \quad \text{dan} \quad y = Y - \bar{Y}$$

yang menghasilkan

$$\sum X^2 - n\bar{X}^2 = \sum x^2$$

$$\sum XY - n\bar{X}\bar{Y} = \sum xy$$

$$\sum Y^2 - n\bar{Y}^2 = \sum y^2$$

dan persamaan

$$\hat{b} = \frac{\sum X_i Y_i - n \bar{X} \bar{Y}}{\sum X_i^2 - n \bar{X}^2}$$

menjadi

$$\hat{b} = \frac{\sum xy}{\sum x^2}$$

6.3 Pengujian Signifikansi

Begitu hasil estimasi dari parameter persamaannya diperoleh, kita dapat menguji apakah hasil-hasil estimasi ini berbeda signifikan dari nol atau tidak. Ini penting karena analisis bersangkutan tidak mengetahui nilai-nilai a dan b yang sebenarnya, karena nilai-nilai ini hanyalah hasil estimasi dari sampel-pengamatan acak Y dan X . Sebagai contoh, jika kita mengumpulkan himpunan sampel baru dari populasinya, akan samakah parameternya?

Dalam keadaan seperti ini, jumlah kuadrat dari sisa-sisanya (yang tak dijelaskan) dapat dibagi oleh $(n - 2)$ untuk memberi kita kesalahan kuadrat mean (MSE):

$$\therefore MSE = \frac{\sum (Y - \hat{Y})^2}{n - 2}$$

Untuk melakukan pengujian- t untuk signifikansi statistik guna menunjukkan seberapa besar $\hat{b}$ seharusnya untuk menyimpulkan bahwa $\hat{b}$ tidak sama dengan nol, kita bentuk suatu rasio- t :

$$t = \frac{\hat{b}}{s_{\hat{b}}}$$

dengan $\hat{b}$ merupakan estimasi kuadrat terkecil b , dan $s_{\hat{b}}$ merupakan kesalahan-standar estimasinya, dan merupakan akar kuadrat dari $[MSE/\sum(x_i - \bar{x})^2]$:

$$t = \frac{\hat{b}}{\sqrt{MSE/\sum(x_i - \bar{x})^2}}$$

Untuk menguji hipotesis bahwa nilai yang sebenarnya untuk kemiringan sama dengan nol, kita harus menghitung statistik ini.

Contoh yang berikut memperagakan banyak aplikasi yang diuraikan dalam bagian ini dan bagian sebelumnya.

Contoh 14

Perencana tata-guna lahan mengamati bahwa dalam 5 zona dari kota bersangkutan, jumlah pompa bensin (Y) dikaitkan dengan penduduknya (X) dalam ribuan ialah sebagai berikut:

Y	2	7	3	5	8
X	1	5	3	2	4

1. Buatlah persamaan linear yang menghubungkan Y dalam suku-suku X .
2. Tentukanlah r^2 dan gunakanlah pengujian- t .

Y_i	X_i	$Y_i - \bar{Y}$	$X_i - \bar{X}$	$(Y_i - \bar{Y})(X_i - \bar{X})$	$(X_i - \bar{X})^2$	$Y_i X_i$	Y_i^2	X_i^2
2	1	-3	-2	6	4	2	4	1
7	5	2	2	4	4	35	49	25
3	3	-2	0	0	0	9	9	9
5	2	0	-1	0	1	10	25	4
8	4	3	1	3	1	32	64	16
$\Sigma = 25$	$\Sigma = 15$	$\Sigma = 0$	$\Sigma = 0$	$\Sigma = 13$	$\Sigma = 10$	$\Sigma = 88$	$\Sigma = 51$	$\Sigma = 55$
$\bar{Y} = 5$	$\bar{X} = 3$						$\bar{Y}^2 = 30,2$	$\bar{X}^2 = 11,0$

$$\hat{b} = \frac{\sum(X_i - \bar{X})(Y_i - \bar{Y})}{\sum(X_i - \bar{X})^2} = \frac{13}{10} = 1,30$$

$$\hat{a} = \bar{Y} - \hat{b}(\bar{X}) = 5 - (1,3)(3) = 1,10$$

$$\therefore Y = 1,10 + 1,30 X$$

$$\text{Misalkan } x = X_i - \bar{X} \quad \sum x^2 = \sum X_i^2 - n\bar{X}^2 = 55 - 5(3)^2 = 10$$

$$\text{dan } y = Y_i - \bar{Y} \quad \sum y^2 = \sum Y_i^2 - n\bar{Y}^2 = 51 - 5(5)^2 = 26$$

Maka

$$r = \hat{b} \sqrt{\frac{\sum x^2}{\sum y^2}} = 1,30 \sqrt{\frac{10}{26}} = 0,806 \text{ dan } r^2 = 0,65$$

Y_i	X_i	$\hat{Y}_i$	$Y_i - \hat{Y}_i$	$(Y_i - \hat{Y}_i)^2$
2	1	2,4	-0,4	0,16
7	5	7,6	-0,6	0,36
3	3	5,0	-2,0	4,00
5	2	3,7	+1,3	1,69
8	4	6,3	+1,7	2,89
		$\Sigma = 25$		$\Sigma = 9,1$

$$MSE = \frac{\sum (Y_i - \hat{Y}_i)^2}{(n - 2)} = \frac{9,1}{3} = 3,03$$

$$t = \frac{\hat{b}}{\sqrt{\frac{MSE}{\sum (X_i - \bar{x})^2}}} = \frac{1,30}{\sqrt{\frac{3,03}{10}}} = 2,36$$

Untuk pengujian dua-arah dengan signifikansi 10%, nilai kritis untuk 3 derajat kebebasan ialah $2,353 < 2,36$. Maka, kita menolak hipotesis nihil bahwa nilai sebenarnya dari kemiringan sama dengan nol. Kita juga ingin mengetahui apakah r dapat muncul secara kebetulan.

$$t = \frac{r\sqrt{n-2}}{\sqrt{1-r^2}} = \frac{0,81\sqrt{5-2}}{\sqrt{1-0,65}} = 2,37$$

Di sini pun r tepat lulus pengujian- t dari $t = 2,353$ pada taraf 10%. Oleh sebab itu kita simpulkan bahwa nilai r^2 sudah signifikan.

6.4 Regresi Berganda

Regresi berganda merupakan perluasan dari kasus satu-variabel bebas. Di sini, terdapat lebih banyak variabel penjelas. Bentuk umum persamaannya akan berupa

$$Y_i = B_1X_{i1} + B_2X_{i2} + B_3 + e_i$$

Kita dapat mengerjakannya seperti yang kita kerjakan pada regresi linear sederhana dan menghitung B_1 , B_2 , dan B_3 , yang meminimumkan jumlah kuadrat dari kesalahan di antara nilai-nilai yang dinyatakan oleh persamaannya dan nilai-nilai sebenarnya. Program-program komputer tersedia untuk mengerjakan regresi berganda ini.

Anda mungkin berkeinginan melihat subbab tentang analisis bangkitan perjalanan yang diberikan pada Bab 11 untuk memperoleh uraian singkat tentang teknik-teknik regresi linear berganda yang digunakan pada perencanaan transportasi. Beberapa butir penting yang berkaitan dengan regresi berganda digambarkan dalam contoh berikut.

Contoh 15

Sampel yang terdiri atas delapan rumah tangga telah diamati dengan dua variabel bebas: (1) X_1 dan X_2 , yang mewakili pendapatan dalam ribuan dollar dan ukuran rumah tangga, dan (2) satu variabel tak-bebas Y yang mewakili jumlah perjalanan yang dibuat per pekan. Satu tabel pengamatan ditunjukkan di bawah ini.

Y_i	52	72	78	109	57	128	95	116
X_{i1}	10	12	16	15	15	16	9	10
X_{i2}	4	7	7	12	4	15	12	15

Bekerja dengan menggunakan komputer, kita menurunkan persamaan berikut yang menghubungkan Y , X_1 , dan X_2 .

$$Y = 1,8016X_1 + 6,065X_2 + 7,5546$$

Nilai-nilai r^2 dapat dihitung dengan menggunakan persamaan ini, yang serupa dengan persamaan yang digunakan untuk kasus satu-variabel.

$$r^2 = 1 - \frac{\sum(Y_i - \hat{Y}_i)^2}{\sum(Y_i - \bar{Y})^2}$$

Penjumlahan pada penyebutnya mewakili (SE_{av}), kesalahan kuadrat di atas rata-rata seperti sebelumnya, sementara penjumlahan pada pembilangnya mewakili jumlah dari kuadrat-kuadrat deviasi dari nilai sebenarnya ke nilai yang diprediksi oleh persamaan regresi tersebut. Perhatikan bahwa sekarang terdapat tiga kesalahan standar yang diberikan keluaran komputer seperti yang ditunjukkan di bawah ini.

$$Y = 1,8016X_1 + 6,0658X_2 + 7,5546$$

$$(0,2202) \quad (0,1422) \quad (3,2556)$$

Jika kita bagi nilai koefisiennya dengan kesalahan standar tersebut, kita memperoleh statistik t untuk koefisien itu.

$$X_1 : \text{statistik } t = 1,801/0,2202 = 8,18$$

$$X_2 : \text{statistik } t = 6,0658/0,1422 = 42,66$$

$$\text{Suku konstan: statistik } t = 7,5546/3,2556 = 2,32$$

Statistik t digunakan untuk menguji hipotesis tentang nilai koefisien itu. Jika ukuran rumah tangga tidak berpengaruh pada jumlah perjalanan, maka statistik t —nilai-nilai koefisien rumah tangga (X_2)—harus nol. Jika hipotesis nihil ini benar, maka statistik t tersebut akan datang dari suatu distribusi t dengan derajat kebebasan $n - m$ di mana $n = 8$ dan $m = 3$. Dari tabel-tabel standar, yang memberi nilai kritis untuk pengujian pada taraf 5%, diperoleh 2,571. Karena $42,66 > 2,571$, kita akan menolak hipotesis nihil. Serupa halnya, statistik t untuk X_1 ialah 8,18 dan karenanya kita dapat juga menolak hipotesis nihil bahwa $\beta = 0$. (Kita percaya bahwa pendapatan *memang* berpengaruh signifikan pada keputusan melakukan perjalanan.) Statistik t untuk suku konstanta ialah 2,32, jadi kita tidak dapat menolak bahwa nilai sebenarnya untuk suku konstanta itu sama dengan nol.

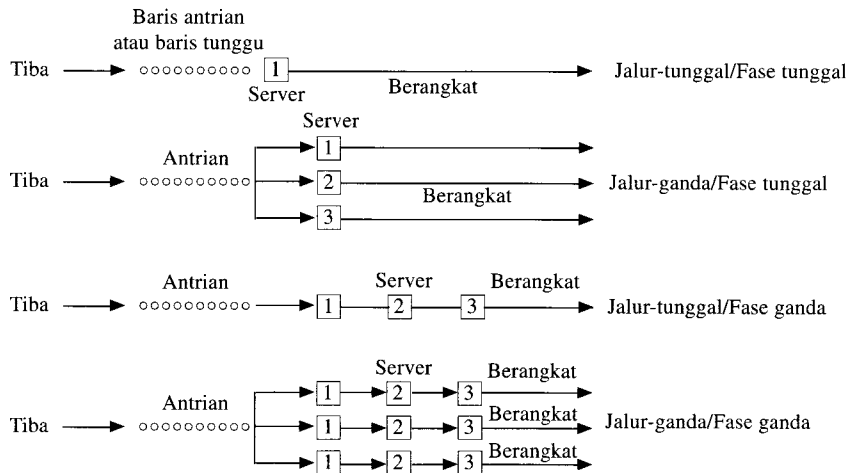
7. MODEL ANTRIAN

7.1 Pengantar

Barisan, atau antrian, yang terbentuk di depan loket pelayanan di bandara, rumah sakit, toko makanan dan minuman, dan banyak lagi keadaan lain bukanlah hal yang baru setiap orang. Akibat ketakberaturan kedatangan pelanggan yang menginginkan pelayanan, ditambah lagi dengan keragaman dalam waktu yang dibutuhkan untuk memberikan pelayanan untuk para pelanggan, antrian itu cenderung memanjang dan memendek dari waktu ke waktu.

Teori matematis tentang antrian ini rumit, tetapi teori-teori ini memberi kita berbagai jenis model yang membantu kita menganalisis dan memprediksi bagaimana suatu sistem yang menangani antrian akan berhasil atau gagal mengatasi permintaan ini.

Diagram skematik umum untuk sistem antrian ditunjukkan pada Gambar B-6. Jika suatu sistem memiliki beberapa fasilitas pelayanan secara berbanjar, sistem itu disebut sebagai *saluran* (*channel*). Jika fasilitas pelayanan itu berurutan, tahapan-tahapannya disebut *fase*.



Gambar B-6 Diagram Skematik Sistem Antrian.

7.2 Karakteristik Sistem Antrian

Terdapat sejumlah karakteristik operasi dari suatu sistem antrian: (1) probabilitas jumlah-pelanggan tertentu dalam sistem tersebut, (2) waktu tunggu rata-rata untuk setiap pelanggan, (3) panjang antrian yang diharapkan (rata-rata), (4) waktu yang diharapkan dalam sistem tersebut untuk setiap pelanggan, (5) jumlah rata-rata pelanggan dalam sistemnya, dan (6) probabilitas fasilitas pelayanan yang menganggur.

Salah satu fitur sistem antrian ialah disiplin—yakni, apa yang terjadi di antara saat kedatangan seorang pelanggan yang membutuhkan pelayanan hingga saat yang bersangkutan meninggalkan sistemnya. Kedua pilihan yang paling populer ialah pertama-datang-pertama-keluar (FIFO—*first-in-first-out*), dan terakhir-datang-pertama-keluar (LIFO—*last-in-first-out*), yang memperlihatkan bahwa pelanggan terakhir yang datang ialah yang pertama keluar. Sebagian pelanggan mungkin saja memutuskan keluar dari antrian setelah tiba (berkeberatan), atau pelanggan-pelanggan itu mungkin saja masuk ke antrian lain jika mereka berpikir bahwa mereka dapat memperoleh peluang yang lebih baik untuk dilayani (joki).

Model antrian umumnya ditandai oleh tiga nilai alfanumerik: (1) asumsi laju kedatangan, (2) asumsi laju keberangkatan, (3) jumlah saluran keberangkatan. Kita berikutnya akan memperhatikan keempat model yang dirinci sebagai berikut ini:

1. Model antrian D/D/1: Mengasumsikan kedatangan yang deterministik dan juga keberangkatan deterministik, dengan satu saluran keberangkatan.
2. Model antrian M/D/1: Mengasumsikan waktu kedatangan yang terdistribusi secara eksponensial, keberangkatan deterministik, dengan satu saluran keberangkatan.
3. Model antrian M/M/1: Mengasumsikan waktu kedatangan maupun keberangkatan yang terdistribusi secara eksponensial, dengan satu saluran keberangkatan.
4. Model antrian M/M/N: Mengasumsikan karakteristik yang sama seperti M/M/1 kecuali bahwa model ini memiliki saluran keberangkatan berganda (N).

7.3 Model Antrian Deterministik Model 1 (D/D/1)

Titik awal yang paling bagus ialah model antrian D/D/1, yang merupakan model baris-tunggu yang paling sederhana. Model ini mengasumsikan yang berikut: (1) kedatangan deterministik, (2) waktu pelayanan deterministik, (3) pelayan saluran-tunggal, (4) FIFO, dan (5) panjang antrian terhingga. Untuk model antrian sederhana, satu ukuran penting ialah intensitas lalu-lintasnya,

di mana

$$\text{Intensitas lalu-lintas } (\rho) = \frac{\text{laju kedatangan rata-rata } (\lambda)}{\text{laju kedatangan rata-rata } (\mu)}$$

$$\text{Waktu antar-kedatangan rata-rata} = 1/\lambda$$

$$\text{Waktu layan rata-rata} = 1/\mu$$

$$\rho = 1/\mu \cdot 1/\lambda$$

Kita akan memeriksa model ini dengan mengerjakan kedua contoh berikut.

Contoh 16

Para pengunjung tiba di loket karcis bioskop dengan laju 10 orang per jam dan dilayani pada laju konstan 12 orang per jam. Uraikanlah bagaimana sistem ini akan berkinerja.

Penyelesaian

$$\text{Laju kedatangan rata-rata, } \lambda = 10/\text{jam}$$

$$\text{Laju pelayanan rata-rata, } \mu = 12/\text{jam}$$

Karena $\lambda < \mu$, pada keadaan ini tidak akan terjadi antrian dan tak ada waktu terbuang.

Contoh 17

Para pengunjung tiba pada loket penjualan karcis bioskop setempat dengan laju 140 orang per jam, pada 5:30 petang. Setelah 10 menit, laju kedatangan itu menurun menjadi 60 orang per jam dan berlanjut pada tingkat itu selama 20 menit. Jika waktu yang dibutuhkan untuk melayani setiap pengunjung ialah 20 detik, uraikanlah kinerja sistem ini.

Penyelesaian

$$\lambda_1 = \frac{240 \text{ orang/jam}}{60 \text{ menit/jam}} = 4 \text{ orang/menit} \quad t \leq 10 \text{ menit}$$

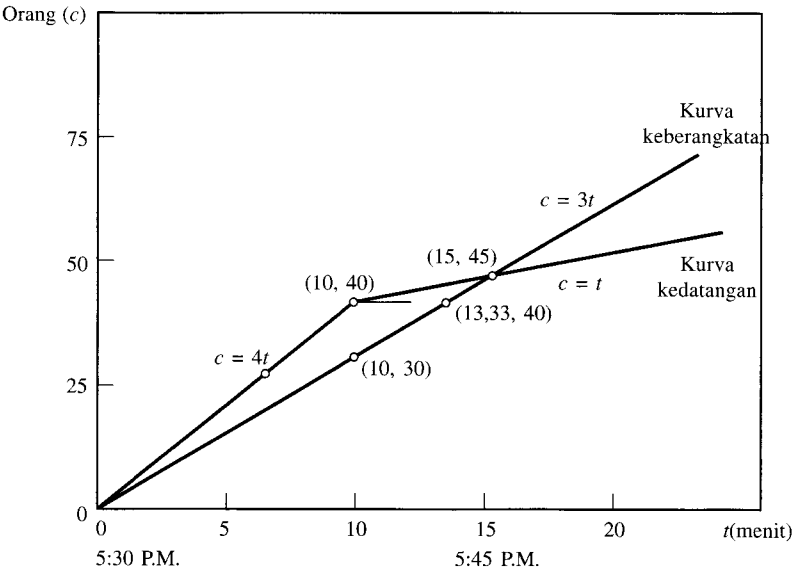
$$\lambda_2 = \frac{60 \text{ orang/jam}}{60 \text{ menit/jam}} = 1 \text{ orang/menit} \quad t > 10 \text{ menit}$$
$$\mu = \frac{60 \text{ orang/jam}}{20 \text{ menit/jam}} = 3 \text{ orang/menit} \quad \text{untuk semua } t$$

Oleh sebab itu jumlah kedatangan pengujung pada waktu t sama dengan $4t$ untuk $t \leq 10$ menit. Selain itu, jumlah kedatangan pengujung adalah $[40 + 1(t - 10)]$ untuk $t > 10$ menit dan jumlah kedatangan pengujung dengan tiket (keberangkatan) ialah $3t$ untuk semua t .

Persamaan ini diperlihatkan pada Gambar B-E17. Perhatikan bahwa apabila kurva kedatangan berada di atas kurva keberangkatan akan terjadi antrian. Antrian ini akan hilang ketika kurva kedatangan dan keberangkatan berpotongan.

$$\therefore 40 + 1(t - 10) = 3t \quad \text{dan} \quad t = 15$$

Dengan demikian antrian ini, yang dimulai pada 5:30 petang, akan hilang pada 5:45 petang.



Gambar B-E17 Antrian D/D/1.

Antrian terpanjang akan terjadi pada waktu $t = 10$ yang terdiri atas 10 orang, dan keterlambatan yang paling lama akan menjadi $13,33 - 10 = 3,33$ menit.

$$\text{Keterlambatan total} = \frac{1}{2} (10 \times 10) + \frac{1}{2} (10 \times 5) = 75 \text{ orang/menit}$$

Banyaknya orang yang mengalami antrian = 45

$$\therefore \text{Keterlambatan rata-rata/orang} = 75/45 = 1,667 \text{ menit}$$

7.4 Model 2 (M/D/1)

Model 2 mengasumsikan bahwa waktu kedatangan pelanggan demi pelanggan dalam suatu antrian terdistribusi secara eksponensial (yakni, kedatangan Poisson). Akan tetapi, keberangkatan terdistribusi secara deterministik. Masalah-masalah seperti itu sebaiknya diselesaikan secara matematis. Dengan mendefinisikan intensitas lalu-lintas (ρ) sebagai rasio kedatangan terhadap

keberangkatan rata-rata (λ/μ) dan mengasumsikan ρ lebih kecil daripada 1, dapat ditunjukkan bahwa untuk suatu antrian M/D/1 dengan notasi berikut:

- λ = laju kedatangan rata-rata ($1/\lambda$ = waktu rata-rata di antara kedatangan)
- μ = laju pelayanan rata-rata ($1/\mu$ = waktu pelayanan rata-rata)
- n = banyaknya pelanggan (satuan) dalam sistem tersebut (termasuk pelanggan yang menunggu dan yang sedang dilayani)
- L = banyaknya secara rata-rata dalam sistem
- L_q = banyaknya secara rata-rata dalam barisan yang menunggu (panjang antrian)
- W = waktu rata-rata dalam sistem
- W_q = waktu tunggu rata-rata (dalam antrian)
- ρ = faktor utilisasi fasilitas pelayanan
- I = persentase waktu diam pelayan
- P_o = probabilitas tidak ada pelanggan dalam sistem
- P_n = probabilitas n pelanggan dalam sistem

$$\rho = \frac{\lambda}{\mu}$$

$$P_o = 1 - \rho$$

$$L_q = \frac{\rho^2}{2(1 - \rho)}$$

$$L = L_q + \rho$$

$$W_q = \frac{L_q}{\lambda}$$

$$W = W_q + \frac{1}{\mu}$$

Penting untuk diperhatikan bahwa apabila intensitas lalu-lintas (ρ) kurang dari 1 (artinya, apabila $\lambda < \mu$) antrian D/D/1 akan memprediksi tidak terjadi pembentukan antrian. Akan tetapi, model M/D/1 akan memprediksi pembentukan antrian pada keadaan seperti itu dengan keacakan yang timbul dari distribusi probabilitas kedatangan yang diasumsikan.

Contoh 18

Perhatikan lagi Contoh 17, dengan perubahan-perubahan berikut. Laju kedatangan pengunjung ialah 165 orang per jam selama periode waktu hingga filmnya diputar, sementara laju pelayanan ialah 3,25 menit per orang. Hitunglah karakteristik sistem ini.

Penyelesaian

Laju kedatangan rata-rata $\lambda = \frac{165}{6} = 2,75$ orang/menit (eksponensial)

Laju pelayanan konstan $\mu = 3,25$ orang/menit

$$\rho = 0,846$$

$$\begin{aligned} L_q = \text{banyaknya pelanggan rata-rata dalam barisan tunggu} &= \frac{\rho^2}{2(1 - \rho)} \text{ orang} \\ &= \frac{(0,846)^2}{2(1 - 0,846)} = 2,327 \text{ orang} \end{aligned}$$

$$L = \text{banyaknya pelanggan rata-rata dalam sistem} = L_q + \rho = 3,173 \text{ orang}$$

$$W_q = \text{waktu rata-rata dalam antrian} = \frac{L_q}{\lambda} = \frac{2,327}{2,75} = 0,846 \text{ menit}$$

$$W = \text{waktu rata-rata dalam sistem} = W_q + \frac{1}{\mu} = 0,846 + 0,308 = 1,154 \text{ menit}$$

$$\rho = \text{faktor utilisasi fasilitas pelayanan} = 0,846 \text{ menit}$$

$$P_o = \text{probabilitas tidak ada pelanggan dalam sistem} = 1 - \rho = 0,154$$

7.5 Model 3 (M/M/1)

Jika kita mengasumsikan waktu-waktu kedatangan yang terdistribusi secara eksponensial dan juga waktu keberangkatan yang terdistribusi secara eksponensial, kita akan memperoleh Model 3, suatu model yang bermanfaat dalam beberapa penggunaan. Sebagai contoh, jika kita lihat pola keberangkatan loket bioskop, ternyata terlihat bahwa sebagian pengunjung belum menerima uang kembalian yang benar dan dalam beberapa hal belum memutuskan untuk menonton film yang mana. Pada keadaan M/M/1 standar, ρ kurang dari satu dan persamaan-persamaan untuk menyelesaikan karakteristik-karakteristik antriannya ialah sebagai berikut:

$$\text{Rata-rata banyaknya pelanggan dalam sistem: } L = \frac{\lambda}{\mu - \lambda}$$

$$\text{Rata-rata banyaknya pelanggan dalam antrian: } L_q = \frac{\lambda^2}{\mu(\mu - \lambda)} = \frac{\rho^2}{1 - \rho}$$

$$\text{Rata-rata waktu dalam sistem (untuk setiap pelanggan): } W = \frac{1}{\mu - \lambda}$$

$$\text{Rata-rata waktu tunggu: } W_q = \frac{\lambda}{\mu(\mu - \lambda)}$$

$$\text{Persentase waktu menganggur pelayan: } I = P_o = 1 - \frac{\lambda}{\mu} = 1 - \rho$$

dengan P_o = probabilitas tidak ada pelanggan dalam sistem tersebut.

Contoh 19

Loket tiket bioskop memiliki rata-rata laju kedatangan sebanyak 3 orang/menit dan laju pelayanan ialah 4 orang/menit. Hitunglah karakteristik sistem antrian ini dengan menerapkan model M/M/1.

Penyelesaian

$$\lambda = 3; \mu = 4; \rho = \frac{\lambda}{\mu} = 0,75$$

$$L = \frac{\lambda}{\mu - \lambda} = \frac{(3)}{4 - 3} = 3 \text{ orang}$$

$$L_q = \frac{\rho^2}{1 - \rho} = \frac{(0,75)^2}{1 - (0,75)} = 2,25 \text{ orang}$$

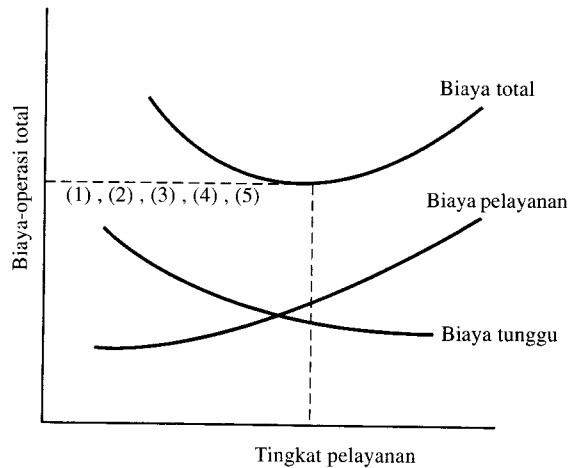
$$W = \frac{1}{\mu - \lambda} = \frac{1}{1} = 1,00 \text{ menit}$$

$$W_q = \frac{\lambda}{\mu(\mu - \lambda)} = \frac{3}{4(1)} = 0,75 \text{ menit}$$

$$I = 1 - \frac{\lambda}{\mu} = 1 - 0,75 = 0,25$$

7.6 Ekonomi dari Karakteristik Operasi Disiplin Antrian

Para ahli teknik dan manajer yang membuat keputusan tentang tingkat pelayanan yang perlu dipertahankan dalam menangani barang-barang, kendaraan, dan orang, sering harus memperhatikan penghematan keseluruhan yang akan diperoleh jika pekerja tambahan akan ditugaskan dalam operasi. Lagi pula, penghematan waktu pelanggan sangat penting untuk bisnis yang bermaksud menaikkan jumlah pelanggannya. Hubungan *trade-off* biaya antara biaya total dari fasilitas pelayanan dengan tingkat pelayanan ditunjukkan pada Gambar B-7. Sasarannya ialah untuk meminimumkan biaya total untuk pelayanan dan waktu tunggu untuk mencapai tingkat pelayanan yang wajar.



Gambar B-7 Tingkat Pelayanan terhadap Biaya Total.

7.7 Model 4 (M/M/N)

Jika kita memperluas model 3 (M/M/1) dengan memperhatikan saluran berganda, kita akan memperoleh model 4, suatu perumusan yang lebih umum yang dapat digunakan dalam banyak pengambilan keputusan manajerial. Kita masih mengasumsikan kedatangan Poisson dan waktu-waktu pelayanan eksponensial. Laju pelayanan rata-rata ditentukan oleh $N(\mu)$, dengan N merupakan jumlah pelayanan.

1. Probabilitas bahwa tidak ada pelanggan di dalam sistemnya ialah

$$P_o = \frac{1}{\sum_{n_c=0}^{N-1} \frac{\rho^{n_c}}{n!} + \frac{\rho^N}{N!(1 - \rho/N)}}$$

dengan n_c merupakan banyaknya saluran keberangkatan.

2. Probabilitas memperoleh n kendaraan dalam sistemnya ialah

$$P_n = \frac{\rho^n P_o}{n!} \quad \text{untuk } n \leq N$$

$$P_n = \frac{\rho^n P_o}{N^{n-N} N!} \quad \text{untuk } n \geq N$$

3. Panjang antrian rata-rata (dalam satuan) ialah

$$L = \frac{P_o \rho^{N+1}}{N!N} \left[\frac{1}{(1 - \rho/N)^2} \right]$$

4. Waktu rata-rata yang dihabiskan di dalam sistem ialah

$$W = \frac{\rho + L}{\lambda}$$

5. Waktu tunggu rata-rata dalam antrian ialah

$$W_q = \frac{\rho + L}{\lambda} - \frac{1}{\mu}$$

Probabilitas menunggu dalam antrian (yang berupa probabilitas bahwa banyaknya pelanggan dalam sistem, n , adalah lebih besar daripada banyaknya saluran keberangkatan, N) ialah

$$P_{n>N} = \frac{P_o \rho^{N+1}}{N!N(1 - \rho/N)}$$

Contoh 20

Ramp masuk ke sebuah jalan tol memiliki empat gardu. Kendaraan datang rata-rata 1800 kendaraan/jam dan membutuhkan 6,67 detik untuk membayar tolnya. Baik kedatangan maupun keberangkatan dapat dianggap terdistribusi secara eksponensial. Hitung panjang antrian rata-rata, waktu dalam sistem, dan probabilitas menunggu dalam antrian.

Penyelesaian

$$\lambda = \frac{1800}{60} = 30 \text{ kendaraan/menit}$$

$$\mu = \frac{60}{6,67} = 9 \text{ kendaraan/menit}$$

$$\rho = \frac{30}{9} = 3,333$$

$$\rho/N = \frac{3,333}{4} = 0,8333 < 1$$

Sekarang, jika pengelola jalan tol ingin membuka empat gardu, maka

$$P_o = \frac{1}{1 + \frac{3,333}{1!} + \frac{3,333^2}{2!} + \frac{3,333^3}{3!} + \frac{3,333^4}{4!(0,1667)}} = 0,0213$$

$$L = \frac{0,0213(3,333)^5}{4!4} \left[\frac{1}{(0,1667)^2} \right] = 3,289 \text{ kendaraan}$$

$$W = \frac{3,333 + 3,289}{30} = 0,2207 \text{ menit}$$

$$P_{n>N} = \frac{0,0213(3,333)^5}{4!4(0,1667)} = 0,548 \text{ menit}$$

Contoh 21

Lihatlah Contoh 20. Sekarang pengelola jalan tol merasa bahwa keterlambatan yang dialami kendaraan telah berlebihan dan bahwa gardu kelima harus dibuka. Hitunglah nilai-nilai P_0 , L , W , dan $P_{n>N}$.

Penyelesaian

$$P_0 = \frac{1}{1 + \frac{3,333}{1!} + \frac{3,333^2}{2!} + \frac{3,333^3}{3!} + \frac{3,333^4}{4!} + \frac{3,333^5}{5!(1 - 3,333/5)}} = 0,032$$

$$L = \frac{0,032(3,333)^6}{5!5} \left[\frac{1}{(0,333)^2} \right] = 0,659 \text{ kendaraan}$$

$$W = \frac{3,333 + 0,659}{30} = 0,133 \text{ menit}$$

$$P_{n>N} = \frac{0,032(3,333)^6}{5!5(3,3334)} = 0,219 \text{ menit}$$

Contoh 22

Bandungkan kedua sistem dengan empat dan lima gardu dibuka pada Contoh 20 dan 21. Jika nilai waktu adalah \$10 per jam dan upah serta biaya operasi satu gardu adalah \$100 per jam, akan bagaimanakah saran Anda kepada pengelola jalan tol tersebut?

Penyelesaian

		4 Gardu	5 Gardu
P_0	Probabilitas tidak ada kendaraan dalam sistem	0,0213	0,032
L	Panjang antrian rata-rata	3,287 kend	0,659 kend
W	Rata-rata waktu yang dihabiskan dalam sistem	0,331	0,133
$P_{n>N}$	Probabilitas harus menunggu dalam antrian	0,548	0,219

Membuka gardu kelima akan mengurangi panjang antrian sebanyak $3,287 - 0,659 = 2,628$ kendaraan dan rata-rata waktu yang dihemat dalam sistem selama $0,331 - 0,133 = 0,198$ menit.

$\therefore$ Karena $\lambda = 20$ kendaraan/menit $20 \times 0,198 = 3,96$ kendaraan menit

Penghematan total $3,96 \times 60 \times 10 = \$2376/\text{jam}$

Penghematan bersih $= \$2376 \times \$100 = \$2276/\text{jam}$

SOAL-SOAL LATIHAN

1. Jika 10% dari mobil-mobil yang mendekati sebuah kaki persimpangan berbelok ke kiri, berapakah probabilitas bahwa sedikitnya satu dari tiga mobil secara acak akan berbelok ke kiri?
2. Rata-rata terdapat 0,7 kecelakaan per tahun pada suatu persimpangan. Jika diasumsikan bahwa kecelakaan-kecelakaan ini terdistribusi secara Poisson, berapakah probabilitas bahwa pada tahun tertentu akan terjadi 0, 1, 2, 3, dan 4 kecelakaan?

3. Lihat Contoh 4. Jika teknisnya perlu memperbaiki empat rambu jalan segera, bagaimanakah hasil-hasil Anda akan berubah?
4. Pada suatu distribusi binomial dengan $p = 0,03$ dan $n = 80$, berapakah probabilitas sebenarnya untuk tiga sukses, dan berapakah aproksimasi Poissonnya?
5. Seratus kecepatan spot diamati pada jalan lokal, seperti yang ditunjukkan di bawah ini. Analisislah pengamatan ini untuk memperoleh mean, deviasi standar, dan kesalahan standar meannya. Gambar juga histogram dan kurva distribusi frekuensi kumulatifnya.

mph	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25
Frekuensi	1	0	3	16	18	24	21	14	2	0	1

6. Suatu sampel acak dari 50 kecepatan spot memberi deviasi standar 5 mph. Berapakah ukuran sampel yang perlu diambil yang akan memberikan nilai mean yang memiliki kesalahan standar yang tidak lebih dari 0,50 mph, 68,27% dari seluruh waktunya? Jika diinginkan kepercayaan 95,45%, berapakah ukuran sampel yang diperlukan?
7. Kecepatan spot dari 200 kendaraan memberi mean sebesar 22 mph dan deviasi standar 3,90 mph. Berikanlah interval kepercayaan 95% untuk mean populasinya ($Z = 1,96$).
8. Sebuah pabrikan mobil mengklaim bahwa model-model tertentu menempuh 49 mil per galon di jalan raya. Akan tetapi, reporter konsumen percaya bahwa klaim ini tidak benar dan ingin menguji 40 kendaraan untuk mematahkan klaim tersebut. Jika deviasi standarnya 2,3 mil per galon, tentukanlah nilai kritis untuk pengujian pada tingkat signifikansi 5%.
9. Pada suatu studi mengenai kecelakaan yang melibatkan kendaraan bermotor komersial di jalan raya antar negara bagian, data kecelakaan untuk 15 jalan raya luar kota empat-lajur dalam beberapa negara bagian telah dikumpulkan. Nilai-nilai sampelnya disesuaikan untuk menunjukkan jumlah kecelakaan tahunan per kilometer jalan raya. Hasil-hasil berikut diperoleh:

0,15	1,18	0,65	0,90	0,55
0,50	0,37	0,84	0,25	0,47
0,25	0,23	0,33	0,43	0,71

- (a) Plotlah data dalam bentuk grafik frekuensi-kemunculan dengan menggunakan rentang-rentang (*range*) seperti 0–0,19, 0,2–0,39, dll.
- (b) Hitunglah mean dan deviasi standar dengan menggunakan hasil pada bagian (a).
10. Dengan mengacu pada Latihan 9, lakukanlah pengujian chi-kuadrat pada $\alpha = 0,01$ untuk menguji kesahihan distribusi normal dalam penyajian data ini.
11. Sebuah kota kecil yang terdiri atas 10 zona telah disurvei untuk mengetahui jumlah perjalanan berbelanja (Y) yang dibuat oleh rumah tangga (X) dari berbagai ukuran. Hasil-hasilnya diberikan berikut ini:

Zona	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Perjalanan (Y_i)	4	1	3	2	2	2	3	4	1	2
Ukuran RT	6	2	4	3	4	4	6	3	2	4

- (a) Buatlah sebuah garis yang menghubungkan X dan Y dengan bentuk $Y = a + bX$ dan carilah nilai-nilai estimasi untuk parameter a dan b .
- (b) Hitung dan tafsirlanlah koefisien korelasi dan gunakanlah pengujian- t .
12. Seorang profesor membutuhkan kira-kira 10 menit dengan setiap mahasiswanya walaupun dia biasanya menjadwalkan 12 menit untuk setiap mahasiswa semata-mata agar tepat waktu. Berapakah rata-rata banyaknya mahasiswa yang menunggu bertemu, rata-rata waktu tunggu untuk seorang mahasiswa dan waktu mean yang diluangkan seorang mahasiswa dalam sistem ini (dengan kata lain, menunggu dan bertemu)? (Gunakanlah model D/D/1.)

13. Lihat Contoh 16 dalam apendiks ini, di mana pada contoh ini laju pelayanan μ sama dengan 2,5 orang/menit.
 - (a) Uraikanlah kinerja sistem ini, dengan mengasumsikan bahwa semua faktornya tetap sama.
 - (b) Gambarkanlah sketsa yang bagus untuk sistem ini. (Gunakanlah model D/D/1.)
14. Pelayanan cuci mobil setempat memiliki sistem otomatis yang membutuhkan 5 menit untuk mencuci satu mobil ditambah 1 menit untuk mengeringkannya. Para pelanggan datang pada laju 8 kendaraan/jam. Jika sistemnya beroperasi sebagai model M/D/1, hitunglah karakteristik dari operasi ini.
15. Bandara di Walla Walla memiliki landasan-pacu tunggal dengan satu pengendali lalu-lintas. Sebuah pesawat terbang membutuhkan 10 menit untuk mendarat dan keluar dari landasan-pacu dengan pendaratan yang mengikuti model M/M/1. Sesuai dengan peraturan DKKU, pengendali lalu-lintas harus memperoleh sedikitnya 15 menit istirahat untuk setiap jamnya. Dengan mengasumsikan dua pesawat terbang datang untuk setiap jam:
 - (a) Berapakah rata-rata jumlah pesawat terbang yang harus menunggu mendarat?
 - (b) Berapakah rata-rata waktu menunggu setiap pesawat terbang di udara sebelum pesawat terbang tersebut dapat mendarat?
 - (c) Akankah bandara ini harus mempekerjakan pengendali lalu-lintas kedua untuk memenuhi peraturan DKKU ini?
16. (a) Selama beberapa hari pertama untuk setiap semester, seorang pembimbing mahasiswa membutuhkan waktu 3 menit untuk menanda-tangani RKS mahasiswanya. Sayangnya, dia adalah satu-satunya yang berwenang untuk jadwal itu dan apabila kedatangan mahasiswanya 18 orang per jam, dia menjadi sangat sibuk. Hitunglah karakteristik dari sistem ini.
 - (b) Pembimbing ini merasa bahwa jika beberapa orang mahasiswa pasca-sarjana bersedia membantu maka bimbingannya akan berlangsung lebih cepat. Jika 5 menit merupakan waktu yang masuk akal untuk waktu menunggu seorang mahasiswa, bantuan seorang mahasiswa pasca-sarjana akan mengurangi waktu tunggu sebesar 30 detik. Berapa mahasiswa pasca-sarjanakah yang harus dipekerjakannya? (Gunakan metode M/M/1.)
17. Toko bahan bangunan mengoperasikan sistem antrian pelayan-tunggal (dengan seorang kasir dan seorang petugas pemeriksa keluar) selama 12 jam per hari. Sistem ini memiliki rincian berikut: (a) populasi kunjungan takterhingga (b) pertama datang/pertama dilayani, (c) sistem M/M/1, (d) 20 pelanggan datang di antrian meja pemeriksa setiap jam, dan 25 dapat diizinkan keluar. Hitunglah P_0 , L , L_q , W , W_q , dan V .
18. Lihatlah Latihan 17. Manajer toko ini merasa bahwa jika antrian tersebut dibagi menjadi dua bagian yang sama dan meja pemeriksaan keluar kedua dioperasikan, akan diperoleh efisiensi yang lebih tinggi, meskipun biaya pengoperasian meja kedua berbiaya \$10 per jam. Hitunglah karakteristik dari usulan ini dan estimasikanlah penghematan yang mungkin per pekan, dengan mengasumsikan nilai waktu pelanggan sama dengan \$10 per jam.
19. Lihatlah Latihan 17. Manajer toko ini merasa bahwa mempekerjakan pembantu dengan biaya \$5 per jam adalah gagasan yang bagus. Dia mencobanya dan menemukan bahwa karena penurunan keterlambatan, laju kedatangan pun menanjak hingga 38 pelanggan per jam. Hitunglah karakteristik dari pengaturan yang baru ini, dengan mengasumsikan waktu pelanggan bernilai \$10 per jam dan estimasikanlah penghematan per pekan untuk toko tersebut.
20. Lihatlah Latihan 17. Manajer toko ini ingin mencoba menyediakan dua pelayanan (meja) untuk mempercepat pemrosesan antrian itu. Jika kedatangan rata-rata tingkat pelayanan tetap seperti sebelumnya dan biaya operasi meja tambahan itu \$10 per jam, hitunglah karakteristik sistem ini dan estimasikanlah penghematan per pekan untuk toko ini.

Apendiks C

Statistik Umum mengenai Sistem dan Penggunaan Transportasi di Amerika Serikat

Tabel

- Tabel C-1. Jaringan Transportasi.
- Tabel C-2. Kematian Berdasarkan Moda Transportasi.
- Tabel C-3. Distribusi Kematian Akibat Transportasi: 1997.
- Tabel C-4. Perjalanan Penumpang dan Transportasi Barang Per Kapita.
- Tabel C-5. Jumlah Pesawat Udara, Kendaraan, dan Kapal.
- Tabel C-6. Mil Kendaraan.
- Tabel C-7. Mil Penumpang.

Gambar

- Gambar C-1. Kematian Akibat Tabrakan Terkait Alkohol.
- Gambar C-2. Tingkat Kematian untuk Beberapa Moda Pilihan.
- Gambar C-3. Rumah Tangga Berdasarkan Jumlah Kendaraan.
- Gambar C-4. Produk Domestik Kotor A.S. Berdasarkan Fungsi Masyarakat: 1998.
- Gambar C-5. Rata-rata Pengeluaran Rumah Tangga Berdasarkan Kategori Utama: 1997.
- Gambar C-6. Produksi dan Konsumsi Minyak Bumi A.S.: 1970–1998.
- Gambar C-7. Emisi Karbon Dioksida dari Konsumsi Energi: 1980–1998.
- Gambar C-8. Indeks Kecenderungan Emisi Transportasi Nasional A.S.: 1970–1997.

1. CAKUPAN DAN PENGGUNAAN SISTEM TRANSPORTASI A.S.

Sistem transportasi A.S. merupakan suatu jaringan yang luas dan saling-terkait dari jalan raya, bandar udara, kereta api, rute transit, pelabuhan, dan jaringan pipa. Jutaan orang dan bisnis mengandalkan sistem yang terus-meluas ini untuk pergi ke tempat kerja, melakukan perjalanan wisata, melakukan bisnis, dan mengirim barang-barang di dalam negeri dan ke luar negeri. Sistem ini menghubungkan daerah-daerah dan menghubungkan kota-kota besar dan kecil serta kawasan perkotaan dan di luar kota.

TABEL C-1. Jaringan Transportasi

Moda	Komponen
Jalan Raya (1998)	Jalan umum 46.334 mil Interstate Highway 113.757 mil jalan National Highway System lainnya 3.760.876 mil jalan lainnya
Udara (1998)	Bandar udara penggunaan-umum 5.352 bandar udara Bandar udara yang melayani perusahaan penerbangan besar dan berizin 29 penghimpun (<i>hub</i>) besar (77 bandar udara), 442 juta penumpang yang berangkat 31 penghimpun sedang (53 bandar udara), 92 juta penumpang yang berangkat 56 penghimpun kecil (73 bandar udara), 38 juta penumpang yang berangkat 584 bukan-penghimpun (613 bandar udara), 17 juta penumpang yang berangkat
Kereta Api (1998)	Panjang rel kereta api yang dioperasikan 119.813 mil oleh kereta api barang Kelas 1 ^a 21.356 mil oleh kereta api barang regional 28.629 mil oleh kereta api barang setempat 24.500 mil oleh Amtrak (penumpang, Tahun Fiskal 1998)
Transit perkotaan (1997)	Rute-mil satu arah yang dilayani^b Bus: 155.817 Bus trem: 420 Kereta Api Komuter: Kereta api berat: 1527 Kereta api ringan: 659 Stasiun Kereta api komuter: 864 Kereta api berat: 997 Kereta api ringan: 530
Air (1997)	26.000 mil jalan air yang dapat dilayari 276 pintu air 328 mil pelayanan feri ^b Pelabuhan yang menangani lebih dari 10 juta ton Danau besar: 340 terminal 483 tambatan kapal Pedalaman: 1.812 terminal Lautan: 1574 terminal 2675 tambatan kapal
Jaringan pipa	Minyak Jaringan minyak mentah: 114.000 mil pipa (1996) Jaringan produk minyak: 86.500 mil pipa (1996) Gas Penyaluran: 256.500 mil pipa (1997) Distribusi: 955.300 mil pipa (1997)

^aTermasuk 574 mil jalan yang dioperasikan oleh kereta api barang Kelas I A. S. di Kanada.^bPelayanan yang langsung dioperasikan. Tidak termasuk pelayanan yang dikontrakkan.

Sumber: U.S. Department of Transportation (U.S. DOT), Bureau of Transportation Statistics (BTS), *Transportation Statistics Annual Report 1999* (Washington, DC: 1999), tabel 1-1; U.S. DOT, BTS, *National Transportation Statistics 1999* (Washington, D.C.: 1999), berbagai tabel; Association of American Railroads, *Railroad Facts*, edisi 1999 (Washington, D.C.: 1999); dan U.S. DOT, Federal Highway Administration, *Highway Statistics 1998* (Washington, DC: 1999).

2. TRANSPORTASI DAN KESELAMATAN

Prioritas tertinggi Departemen Perhubungan A.S. ialah untuk menggalakkan keselamatan. Walaupun kemajuan telah diperoleh dalam mengurangi kematian, transportasi masih tetap dalam kedudukan tertinggi yang menjadi penyebab kematian dan luka-luka di Amerika Serikat. Pada 1998, kira-kira 95 persen kematian akibat transportasi dan bahkan persentase korban luka yang lebih tinggi telah terjadi di jalan-jalan di seluruh Amerika Serikat.

TABEL C-2 Kematian Berdasarkan Moda Transportasi

Moda	1970	1980	1990	1995	1998 ^P
Perusahaan penerbangan besar	146	1	39	168	1
Perusahaan penerbangan komuter	N	37	7	9	0
Taksi udara pesanan	N	105	50	52	45
Penerbangan umum	1.310	1.239	765	734	621
Jalan raya ^a	52.627	51.091	44.599	41.817	41.171
Kereta api ^b	785	584	599	567	577
Transit ^c	N	N	399	274	U
Terkait air					
Korban kapal	178	206	85	46	31
Korban bukan-kapal	420	281	101	137	76
Rekreasi dengan perahu	1.418	1.360	865	829	813
Jaringan pipa gas dan cairan berbahaya	30	19	9	21	18
^a Termasuk penumpang, bukan-penumpang, dan kematian dalam kendaraan bermotor di persilangan kereta api.					
^b Termasuk kematian dari kecelakaan bukan-kereta api, dan juga kecelakaan kereta api, kecuali penumpang kendaraan bermotor di persilangan sebidang.					
^c Kematian yang diakibatkan semua kejadian yang dilaporkan, bukan hanya kecelakaan. Termasuk kereta api komuter, kereta api berat, kereta api ringan, bus, transportasi berdasarkan pesanan, van-patungan, dan jalan-tuntun otomatis.					
Catatan: N = data tidak ada atau tidak dikutip karena perubahan laporan; P = pendahuluan; U = tidak tersedia					

Sumber: U.S. Department of Transportation, Bureau of Transportation Statistics, *Transportation Statistics Annual Report 1999*, BTS99-03 (Washington DC: 1999), tabel 4-1.

TABEL C-3 Distribusi Kematian Akibat Transportasi: 1997

Kategori	Jumlah	Persentase
Jumlah	44.381	100,0
Penumpang mobil	22.199	50,0
Penumpang truk ringan	10.249	23,1
Pejalan kaki yang ditabrak oleh kendaraan bermotor	5.321	12,0
Pengendara sepeda motor	2.116	4,8
Pengguna perahu pesiar	821	1,8
Pengayuh sepeda ditabrak oleh kendaraan motor	814	1,8
Penumpang truk berat	723	1,6
Penerbangan umum	660	1,5
Kereta api ^a	602	1,4
Penumpang kendaraan bermotor lain yang tidak diketahui jenisnya	420	0,9
Korban nonpenumpang lain yang ditabrak oleh kendaraan bermotor ^b	153	0,3
Transit kereta api berat	77	0,1
Pesawat udara komuter	46	0,1
Transportasi air	46	0,1
Persilangan sebidang (tidak melibatkan kendaraan bermotor)	42	0,1
Taksi udara	39	0,1
Penumpang bus (sekolah, antar-kota, transit)	18	0,04
Bus transit (tidak terkait kecelakaan) ^c	9	0,02
Jaringan pipa distribusi gas	9	0,02
Perusahaan penerbangan	8	0,02
Transit pesanan (tidak terkait kecelakaan)	5	0,01
Jaringan pipa gas	1	< 0,01
Transit kereta api ringan	3	< 0,01
Redundan dengan yang di atas:		
Persilangan sebidang, dengan kendaraan bermotor	419	NA
Bus transit, terkait kecelakaan	100	NA
Kereta api komuter	79	NA
Penumpang dalam kereta api	6	NA
Transportasi pesanan, terkait kecelakaan	2	NA

^aTermasuk kematian di dalam dan di luar kereta api, kecuali pada persilangan sebidang.

^bTidak termasuk pengayuh sepeda dan pejalan kaki.

^cTidak termasuk pada submoda jalan raya.

Kunci: NA = tidak berlaku

Sumber: U.S. Department of Transportation, Bureau of Transportation Statistics, *Transportation Statistics Annual Report 1999*, BTS99-03 (Washington DC: 1999), tabel 4-2.

3. MOBILITAS

Jaringan transportasi A.S. menyediakan derajat mobilitas pribadi dan kegiatan angkutan yang tinggi. Pada 1997, jaringan transportasi membantu 4,6 triliun penumpang dan kira-kira 4 triliun ton-mil. Data dalam bagian ini membenarkan bahwa perjalanan setempat dan jarak-jauh dan pengiriman muatan terus tumbuh. Beberapa faktor mempengaruhi pertumbuhan ini: ketersediaan kendaraan yang lebih banyak, biaya perjalanan yang menurun, kenaikan jumlah penduduk, ekonomi yang berkembang, dan pendapatan konsumen yang lebih tinggi.

TABEL C-4 Perjalanan Penumpang dan Transportasi Muatan Per Kapita

	Jumlah
Perjalanan penumpang (1995)	
Perjalanan setempat per orang ^a , tahunan	1.568
Perjalanan setempat per orang ^a , harian	4,3
Perjalanan jarak-jauh per orang ^b per orang, tahunan	3,9
Mil setempat per orang ^a , tahunan	14.115
Mil setempat per orang ^a , harian	39
Mil jarak-jauh per orang, tahunan domestik saja	3.129
Transportasi muatan (1997)	
Ton per orang, tahunan	52
Ton-mil per orang, tahunan	14.958

^aOrang berusia 5 tahun ke atas.

^bSetiap kali seseorang melakukan perjalanan sedikitnya 100 mil jauhnya dari rumah dan kembali.

Catatan: Data yang digunakan untuk perjalanan setempat berasal dari arsip hari-perjalanan *the Nationwide Personal Transportation Survey* dan termasuk perjalanan sejauh manapun yang dilakukan oleh responden dalam satu hari; kira-kira 95% dari perjalanan harian ini jauhnya 30 mil atau kurang. Perhitungan per kapita didasarkan pada estimasi jumlah penduduk dalam setiap survei, tidak dari estimasi Cencus Bureau yang dilaporkan dalam tabel.

Sumber: U.S. Department of Transportation (U.S. DOT), Federal Highway Administration, *Nationwide Personal Transportation Survey, Our Nation's Travel* (Washington DC: 1997); U.S. Department of Commerce, Cencus Bureau, *1997 Commodity Flow Survey: United States Preliminary* (BTS), data dari American Travel Survey, October 1997, perjalanan orang dan arsip-arsip demografik; ditambah estimasi tambahan untuk BTS oleh Oak Ridge National Laboratory.

TABEL C-5 Jumlah Pesawat Udara, Kendaraan, dan Kapal

Moda	1970	1980	1990	1995	1997
Perusahaan penerbangan	2.690	2.818	4.727	5.567	7.616
Penerbangan umum	125.618	202.487	196.800	182.605	192.400
Mobil penumpang ^a	89.243.557	121.600.843	133.700.496	128.386.775	129.748.704
Sepeda motor	2.824.098	5.693.940	4.259.462	3.897.191	3.826.373
Kendaraan 2-gandar, 4-ban lainnya	14.210.591	27.875.934	48.274.555	65.738.322	70.224.082
Truk: Satuan-tunggal	3.681.405	4.373.784	4.486.981	5.023.670	5.293.358
Gabungan	905.082	1.416.869	1.708.895	1.695.751	1.789.968
Bus ^b	377.562	528.789	626.987	685.503	697.548
Kereta api penumpang:					
Amtrak-Gerbong	N	2.128	1.863	1.722	1.728
Lokomotif	N	419	318	313	332
Gerbong dan lokomotif komuter	N	4.500	4.415	4.565	4.943
Transit ^c	10.548	10.654	11.332	11.156	11.471
Kereta api Kelas I:					
Gerbong barang	1.423.921	1.168.114	658.902	583.486	568.493
Lokomotif	27.077	28.094	18.835	18.812	19.684
Gerbong barang lainnya	360.260	542.713	553.359	635.441	701.926
Kapal tanpa-mesin ^{d,e}	19.377	31.662	31.209	31.360	33.011
Kapal bermesin ^{d,e}	6.455	7.126	8.236	8.281	8.408
Kapal samudra ^e	1.579	864	636	509	477
(1000 ton kotor atau lebih)					
Perahu pesiar	7.400.000	8.577.857	10.996.253	11.734.710	12.312.982

^aPada Juli 1977, data revisian dikeluarkan oleh U.S. Department of Transportation, Federal Highway Administration, yang mengubah sebagian kendaraan dari "mobil penumpang" menjadi kendaraan "2-gandar, 4-roda lainnya."

^bMencakup transit yang dimiliki pemerintah kota, bus komersial, federal, dan sekolah.

^cMencakup kereta api ringan dan berat.

^dLihat glosari, hal. 36.

^eKapal berbendera A.S.

Kunci: N = data tidak ada.

Catatan: Tidak termasuk transportasi pesanan, feri, trem gantung, transit jalur-tuntun otomatis, kereta kabel, bidang-miring, monorel, dan van-patungan.,

Sumber: U.S. Department of Transportation, Bureau of Transportation Statistics, *National Transportation Statistics* 199 (Washington, DC: 1999).

TABEL C-6 Kendaraan-Mil (Jutaan)

Moda	1970	1980	1990	1995	1997
Perusahaan penerbangan	2.068	2.523	3.963	4.629	4.911
Penerbangan umum	3.207	5.204	4.830	3.795	3.877
Mobil penumpang	917.000	1.112.000	1.408.000	1.438.000	1.502.000
Sepeda motor	3.000	10.200	9.600	9.800	10.100
Kendaraan 2-gandar, 4-roda lainnya	123.000	291.000	575.000	790.000	850.000
Truk:					
Unit-tunggal	27.100	39.800	51.900	62.700	66.800
Gandeng	35.100	68.700	94.300	115.500	124.500
Bus ^b	4.500	6.100	5.700	6.400	6.800
Lainnya ^c	N	15	324	543	^P 670
Kereta api:					
Transit ^d	441	403	561	572	^P 599
Komuter	N	179	213	238	^P 251
Barang Kelas I	29.890	29.277	26.159	30.383	31.660
Antarkota/Amtrak ^{e, f}	690	235	301	292	288

^aPada Juli 1977, data revisi dikeluarkan oleh U.S. Department of Transportation, Federal Highway Administration, yang mengubah sebagian kendaraan dari “mobil penumpang” menjadi kendaraan “2-gandar, 4-roda lainnya.”

^bMencakup transit yang dimiliki pemerintah kota, bus komersial, federal, dan sekolah.

^cMencakup transit pesanan, boat feri, dan transit lain yang tidak disebutkan; data 1980 mencakup “transit lain” saja.

^dMencakup kereta api ringan dan berat.

^eKendaraan-mil.

^fAmtrak mulai beroperasi pada 1971.

Kunci: N = data tidak ada; P = pendahuluan.

Catatan: Angka untuk “Mobil penumpang” dan “Kendaraan 2-gandar, 4-roda lainnya” telah dibulatkan ke miliaran terdekat; angka untuk sepeda motor, truk, dan bus telah dibulatkan ke 100 jutaan terdekat.

Sumber: U.S. Department of Transportation, Bureau of Transportation Statistics, *National Transportation Statistics 1999* (Washington, DC: 1999).

TABEL C-7 Penumpang-Mil (Jutaan)

Moda	1970	1980	1990	1995	1997
Perusahaan penerbangan	108.400	204.400	345.900	403.900	450.600
Penerbangan umum	9.100	14.700	13.000	^R 10.400	12.500
Mobil penumpang ^R	1.751.000	2.012.000	2.282.000	2.286.000	2,388.000
Sepeda motor ^{a, R}	3.000	12.000	12.000	12.000	12.000
Kendaraan 2-gandar, 4-roda lainnya ^R	226.000	521.000	1.000.000	1.339.000	1.394.000
Truk:					
Satuan-tunggal	27.100	39.800	51.900	62.700	66.800
Gabungan	35.100	68.700	94.300	115.500	124.500
Bus ^b	N	N	121.400	136.100	144.900
Lainnya ^c	N	390	841	1.140	^P 1.627
Kereta api:					
Transit ^d	N	10.981	12.071	11.460	^P 13.139
Komuter	4.600	6.500	7.100	8.200	^P 8.000
Antarkota/Amtrak ^{e, f}	6.200	4.500	6.100	5.500	5.200

^aPada Juli 1977, data revisi dikeluarkan oleh U.S. Department of Transportation, Federal Highway Administration, mengubah sebagian kendaraan dari "mobil penumpang" menjadi kendaraan "2-gandar, 4-roda lainnya."

^bMencakup transit yang dimiliki pemerintah kota, bus komersial, federal, dan sekolah.

^cMencakup transit pesanan, kapal boat feri, dan transit lain yang tidak disebutkan; data 1980 mencakup perahu feri dan "transit lain" saja.

^dMencakup kereta api ringan dan berat.

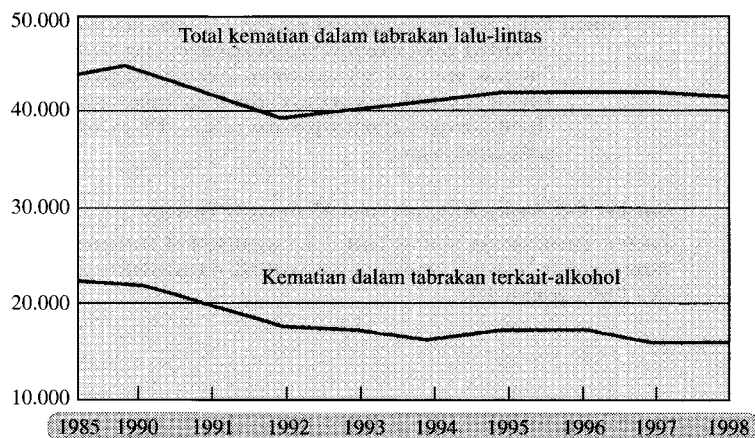
^eKendaraan-mil.

^fAmtrak mulai beroperasi pada 1971.

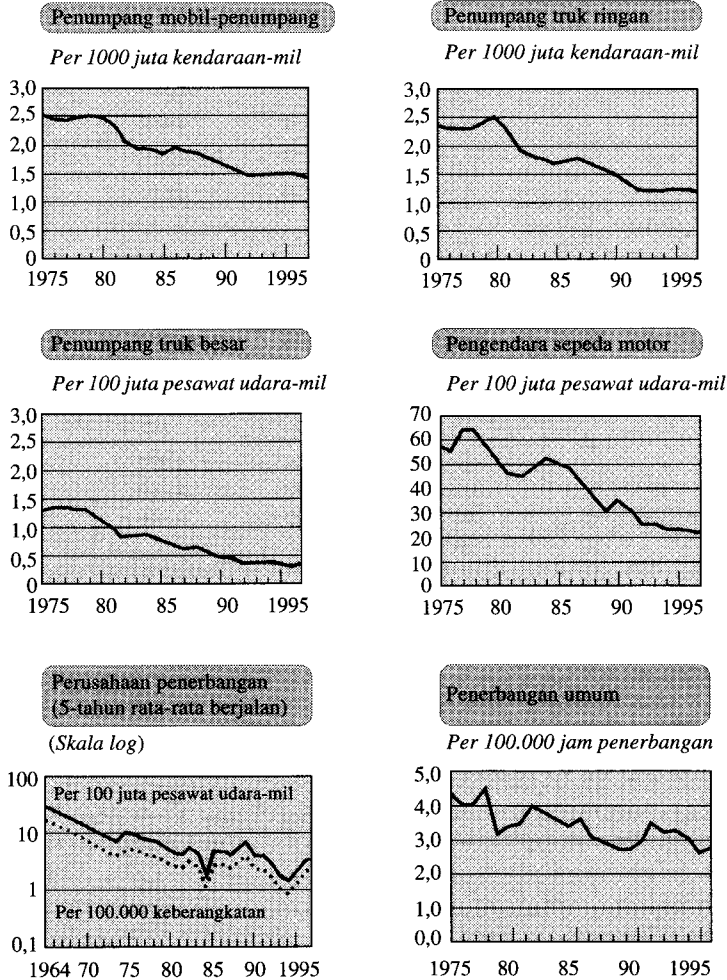
Kunci: N = data tidak ada; P = pendahuluan; R = revisi

Catatan: Angka untuk "Mobil penumpang" dan Kendaraan 2-gandar, 4-roda lainnya" telah dibulatkan ke miliaran terdekat; angka untuk sepeda motor, truk, dan bus telah dibulatkan ke 100 jutaan terdekat.

Sumber: U.S. Department of Transportation, Bureau of Transportation Statistics, *National Transportation Statistics 1999* (Washington, DC: 1999).

**Gambar C-1** Kematian dalam Tabrakan Terkait-Alkohol.

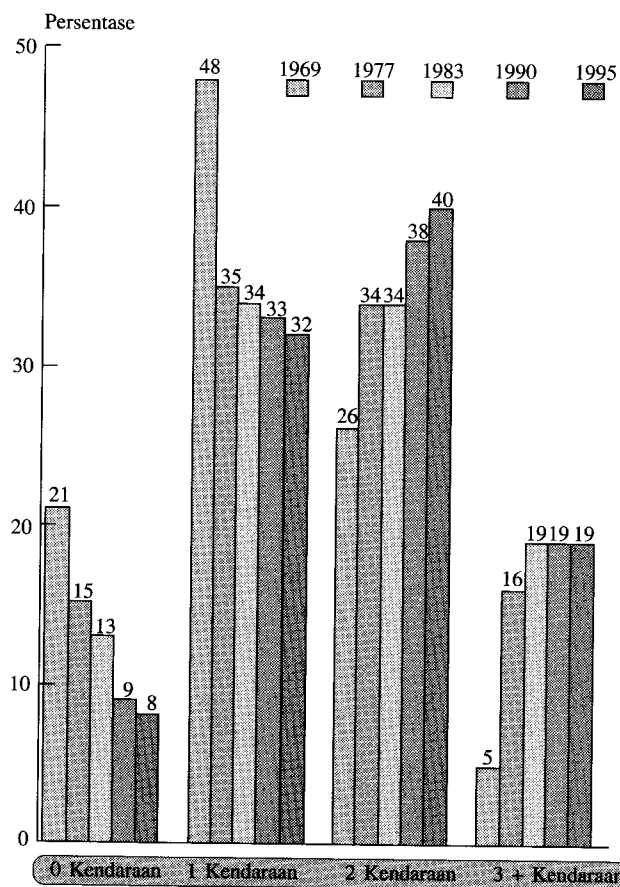
Sumber: U.S. Department of Transportation, National Highway Safety Administration, *Traffic Safety Facts 1998* (Washington, DC: 1999), tabel 13.



Catatan: Untuk perusahaan penerbangan Part 121, rata-rata berjalan 5-tahun digunakan untuk mencatat tingkat kematian yang disebabkan fluktuasi kematian tahun-ke-tahun. Data keberangkatan dan oleh karenanya penyebut tingkatnya tidak benar-benar dapat diperbandingkan di antara pra- dan pasca- 1970-an, tetapi perbedaannya kecil.

Gambar C-2 Tingkat Kematian untuk Moda-moda Tertentu.

Sumber: Untuk sumber aslinya, lihat U.S. Department of Transportation, Bureau of Transportation Statistics, *Transportation Statistics Annual Report 1999* (Washington DC: 1999), gambar 4-1.

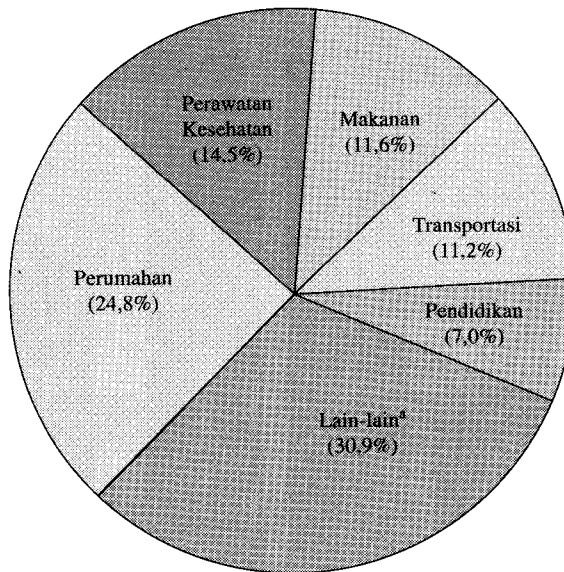


Gambar C-3 Rumah Tangga Berdasarkan Banyaknya Kendaraan.

Sumber: U.S. Department of Transportation, Federal Highway Administration, *National Personal Transportation Survey, Our Nation's Travel* (Washington DC: 1997).

4. TRANSPORTASI DAN EKONOMI

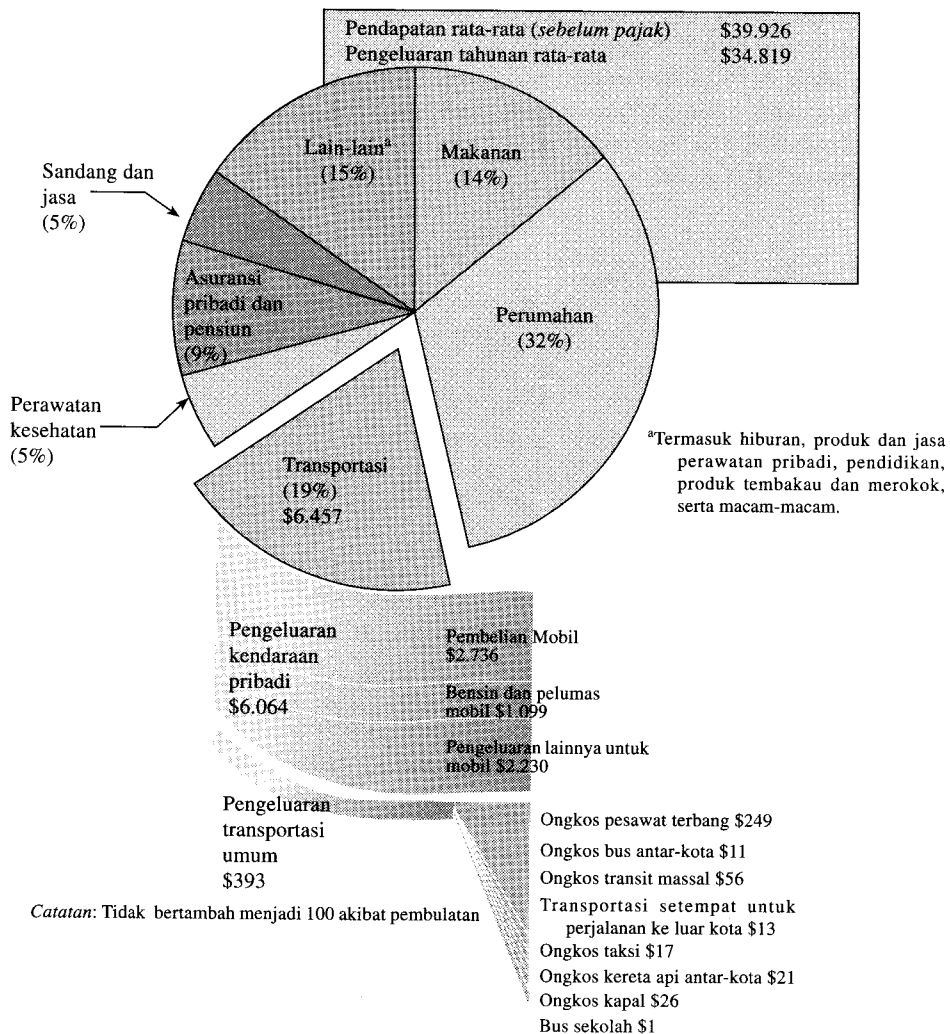
Transportasi merupakan sektor utama perekonomian A.S. Transportasi mengangkut orang dan barang-barang, mempekerjakan jutaan pekerja, membangkitkan penghasilan, dan mengonsumsi sumber-daya dan pelayanan yang diproduksi oleh sektor-sektor ekonomi lainnya. Pada 1998, barang-barang dan pelayanan terkait-transportasi menyumbang \$950 miliar hingga \$8,51 triliun Produk Domestik Bruto A.S.



*Termasuk semua kategori lain seperti hiburan, produk dan jasa, perawatan pribadi, premi untuk asuransi pribadi, dan pembayaran pensiun.

Gambar C-4 Produk Domestik Bruto A.S. berdasarkan Fungsi Masyarakat Utama: 1998.

Sumber: U.S. Department of Transportation, perhitungan Bureau of Transportation Statistics yang didasarkan pada data U.S. Department of Commerce, Bureau of Economic Analysis, 16 November 1999.

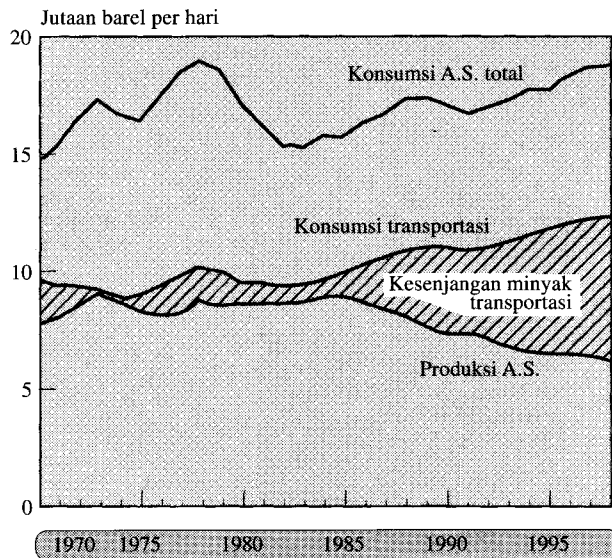


Gambar C-5 Pengeluaran Rumah-Tangga Rata-rata Berdasarkan Kategori Utama: 1997 (pada dollar 1997).

Sumber: U.S. Department of Labor, Bureau of Labor Statistics, Consumer Expenditure Survey, 1996, tabel rinci yang tidak diterbitkan 1100, 7 Oktober 1998.

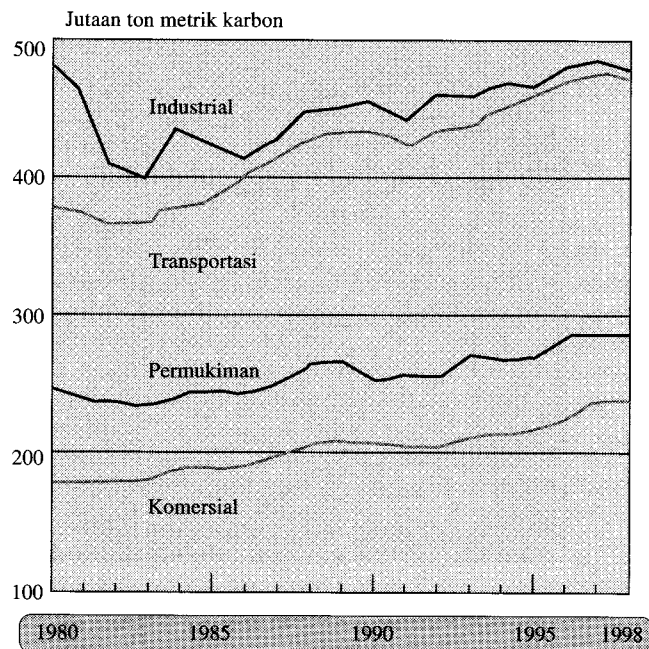
5. TRANSPORTASI, ENERGI, DAN LINGKUNGAN

Masalah-masalah energi dan lingkungan yang serius banyak yang terkait erat dengan transportasi. Sektor transportasi di A.S. hampir tetap masih tergantung pada minyak bumi sebagai sumber energi dan lebih dari 50% dari minyak bumi yang digunakan di Amerika Serikat sekarang harus diimpor. Penggunaan minyak bumi bertanggung jawab atas sebagian besar masalah lingkungan yang diakibatkan oleh transportasi, termasuk emisi karbon dioksida yang mungkin berpengaruh pada perubahan iklim global.



Gambar C-6 Produksi dan Konsumsi Minyak Bumi A.S.: 1970–1998.

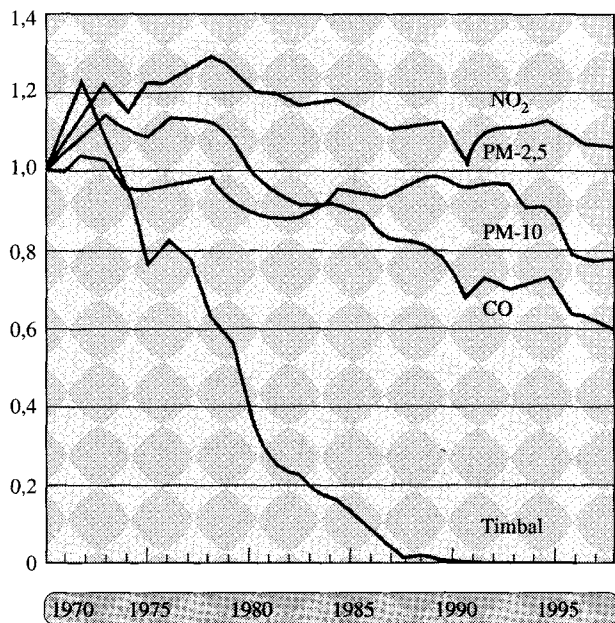
Sumber: U.S. Department of Energy, Energy Information Administration, *Annual Energy Review 1998*, DOE/EIA 0384(98) (Washington, DC: Juli 1999), tabel 5.1 dan 5.12.



Catatan: Ton karbon dapat dikonversi menjadi ton gas karbon dioksida dengan mengalikannya dengan 3,667. Satu ton karbon sama dengan 3,667 ton gas karbon dioksida. Emisi pembangkit listrik tersebar di seluruh bagian pengguna-akhir.

Gambar C-7 Emisi Karbon Dioksida akibat Konsumsi Energi: 1980–1998.

Sumber: U.S. Department of Energy, Energy Information Administration, *Emissions of Greenhouse Gases in the United States, 1998*. DOE/EIA-0573(98) (Washington, DC: 1999).



Kunci: NO_x = oksida nitrogen; PM-10 dan PM-2,5 = partikel yang bertebaran di udara masing-masing berukuran kurang dari 10 mikron atau 2,5 mikron; CO = karbon monoksida.

Catatan: Emisi transportasi mencakup semua sumber mobil dan sumber mobil bukan-jalan berikut: kendaraan dan perahu pesiar, perlengkapan pelayanan bandar udara, pesawat udara, kapal laut komersial, dan kereta api. Sumber bukan-jalan lainnya, seperti mesin pemotong rumput dan perlengkapan pertanian, tidak dicakupkan. Estimasi timbal termasuk sumber mobil di-jalan saja

Gambar C-8 Indeks Kecenderungan Emisi Transportasi Nasional A.S.: 1970–1997. Indeks: 1970 = 1,0, 1990 = 1,0 untuk PM 2-5.

Sumber: U.S. Environmental Protection Agency, Office of Air and Radiation, Air Quality Planning and Standards, National Air Quality and Emission Trends, 1900–1997, dapat dilihat di www.epa.gov/ttn/chief/trends97/emtren/html.

SOAL-SOAL LATIHAN

1. Biasanya, mil kendaraan perjalanan (VMT–vehicle miles of travel) dianggap salah satu alat prediksi terbaik untuk kematian di jalan raya. Plotlah VMT jalan raya tahunan yang diberikan di bawah ini dan bandingkanlah plot yang Anda buat dengan Gambar C-1. Apakah VMT ini tampak menjadi alat prediksi yang baik? Jika tidak, bahaslah faktor-faktor yang dapat diterima akal yang dapat memberi dampak pada kecenderungan ini.

	1975	1976	1977	1978	1978	1980	1981	1982	1983	1984	1985	1986
VMT jalan raya tahunan (miliar)	1.328	1.042	1.467	1.545	1.529	1.527	1.553	1.595	1.653	1.720	1.774	1.835
Kematian di jalan raya tahunan	44.525	45.523	47.878	50.331	51.093	51.091	49.301	43.945	42.589	44.257	43.825	46.087

	1987	1988	1989	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998
VMT jalan raya tahunan (juta)	1.921	2.026	2.096	2.144	2.172	2.247	2.297	2.358	2.423	2.482	2.562	2.632
Kematian di jalan raya tahunan	46.390	47.087	45.582	44.599	41.508	39.250	40.150	40.716	41.817	42.013	42.013	41.501

Sumber: *Traffic Safety Facts 1999*, USDOT, NHTSA, 2000.

2. Bandingkanlah tren-tren pada tingkat kematian pada Gambar C-2 dan bahaslah perbedaan antara moda-moda dengan menekankan pada alasan-alasan yang mungkin dan tindakan pencegahan untuk lebih menurunkan korban jiwa dan tingkat kematian. Gunakan informasi di bawah ini dan Tabel C-6 untuk VMT yang didasarkan pada tingkat kematian untuk kategori penerbangan umum.

	1970	1980	1990	1995	1997
Korban jiwa dalam penerbangan umum	1.310	1.239	767	734	660

Sumber: *National Transportation Statistics 1999*, USDOT BTS, 2000.

3. Telaahlah definisi aksesibilitas dan mobilitas. Dengan mencakupkan informasi yang diberikan di bawah ini dengan Tabel C-4, bahaslah apakah angka-angka tersebut memperlihatkan mobilitas atau aksesibilitas yang naik. Jenis-jenis informasi lain apakah yang mungkin diperlukan untuk memahami secara lebih baik perubahan-perubahan pada mobilitas maupun aksesibilitas?

	1970	1983	1990	1995
Panjang perjalanan pribadi rata-rata	—	8,68	9,47	9,13
Perjalanan setempat per orang, harian	2,92	2,89	3,76	4,30
Mil setempat per orang, harian	26	25	35	39

Sumber: P. S. Hu dan J. R. Young, *Summary of Travel Trends 1995 Nationwide Personal Transportation Survey*, USDOT, FHWA, 1999.

4. Dengan menggunakan informasi pada Tabel C-5 dan C-6, bandingkanlah perubahan-perubahan pada jumlah mobil penumpang dan kendaraan 2-gandar, 4-roda lainnya terhadap perubahan pada VMT akibat mobil penumpang dan kendaraan 2-gandar, 4-roda lainnya antara 1970 dan 1997. Komentirlah faktor-faktor utama yang mungkin yang mempengaruhi perubahan-perubahan yang taksebanding itu.
5. Dengan menggunakan tabel-tabel yang sama pada Latihan 4, identifikasi dan komentirlah perubahan-perubahan dan pergeseran dalam industri pengiriman barang.
6. Tingkat pajanan dalam terminologi keselamatan lalu-lintas merupakan suatu indikator mengenai kecenderungan relatif akan terlibat dalam suatu kejadian, seperti tabrakan atau tabrakan fatal, pada keadaan-keadaan tertentu, seperti melakukan perjalanan dengan moda tertentu, dll. Tingkat pajanan ini diberikan sebagai rasio antara persentase tabrakan dengan moda tertentu terhadap pangsa moda dari moda yang digunakan. Dengan memanfaatkan informasi yang diberikan pada Tabel C-3 dan C-7, hitunglah tingkat pajanan untuk moda-moda yang berbeda, dan komentirlah tentang faktor-faktor yang mengarah ke tingkat seperti itu dan kemungkinan pencegahan untuk menurunkan korban jiwa dalam setiap moda tersebut. Gunakanlah kategori yang diberikan pada Tabel C-7. Perhatikan bahwa kategori "Kendaraan 2-Gandar dan 4-Roda" pada Tabel C-7 bersesuaian dengan kategori "Penumpang Truk Ringan" pada Tabel C-3. Gabungkanlah kategori-kategori dalam kedua tabel ini, jika perlu, untuk menciptakan kategori yang sepadan.

7. Ubahlah plot yang ditunjukkan pada Gambar C-3 sedemikian rupa sehingga sumbu-y mewakili waktu. Nyatakanlah faktor-faktor lain di luar keadaan-keadaan yang sudah diperbaiki yang dapat mempengaruhi kepemilikan kendaraan yang naik per rumah tangga. Bahaslah juga akibat-akibat kepemilikan kendaraan yang naik terhadap sistem transportasi secara umum.
8. Gambar C-5 menunjukkan rata-rata pengeluaran rumah tangga berdasarkan kategori utama. Anggaplah bahwa rata-rata rumah tangga yang memiliki dua kendaraan yang berada dalam keadaan serupa dan memiliki nilai komersial yang serupa memutuskan untuk menjual satu dari kendaraannya. Anggota rumah tangga itu memilih memakai transit dan/atau moda tanpa-mesin untuk perjalanan yang sebelumnya dilakukan dengan kendaraan yang mereka jual itu. Buatlah skenario yang berbeda berdasarkan tempat rumah tangga dan tempat kerjanya (pusat kota, di dalam kota, kawasan kota pinggiran) dan ketersediaan transit ke tujuan yang diinginkan. Cobalah konfigurasi pemilihan moda transportasi yang berbeda-beda untuk tempat kerja dan jenis-jenis perjalanan lainnya untuk mencari tahu apakah keputusan ini mungkin memberikan manfaat pada anggaran rumah tangga tahunan. Gunakan struktur ongkos transit di kawasan Anda, termasuk potongan untuk karcis bulanan, ongkos-tambahan perpindahan moda, dll. Pertimbangkan perbedaan-perbedaan pada bus kota pinggiran, kereta api komuter, dan kereta api setempat serta bus transit. Manfaatkan informasi yang diperlukan dalam tabel-tabel dan gambar-gambar dalam apendiks ini, seperti jumlah perjalanan, jarak perjalanan, atau data lain yang mungkin Anda perlukan. Buatlah asumsi-asumsi yang perlu untuk informasi tambahan yang diperlukan.
9. Pertimbangkanlah semua moda yang ditunjukkan pada Tabel C-6, hitunglah rata-rata terboboti dari banyaknya perubahan yang terjadi pada mil kendaraan dari 1970 sampai 1997. Kemudian, hitunglah banyaknya perubahan dalam konsumsi minyak bumi oleh industri transportasi yang diberikan pada Gambar C-6. Bandingkanlah hasil-hasil yang Anda peroleh dan berikan estimasi kasar atas efisiensi konsumsi minyak bumi selama periode 1970–1997.
10. Ulangilah perhitungan pada Latihan 9 untuk setiap periode lima-tahun (periode terakhir ialah 7 tahun dari 1991 sampai 1997) dan carilah (a) interval manakah yang pertama memperlihatkan peningkatan dalam efisiensi bahan bakar dan (b) interval manakah yang memiliki efisiensi tertinggi dalam konsumsi bahan bakar.
11. Gambar C-8 menunjukkan bahwa terdapat pengurangan besar pada berbagai kategori emisi kimiawi yang ditimbulkan oleh industri transportasi untuk periode 1970–1997. Dengan memperhatikan perubahan pada banyaknya perjalanan selama periode waktu yang sama, hitunglah tingkat keberhasilan dalam pengurangan emisi untuk setiap senyawa.

Apendiks D

Tabel Konversi untuk Satuan-satuan Pengukuran

1. PENDAHULUAN

Tabel-tabel

Tabel D-1. Ukuran Linear.

Tabel D-2. Ukuran Luas.

Tabel D-3. Ukuran Volume.

Tabel D-4. Ukuran Bobot.

Tabel D-5. Bobot Komersial.

Tabel D-6. Ukuran Kerja atau Energi (Mekanis, Listrik, dan Termal)

Tabel D-7. Ukuran Daya (Mekanis, Listrik, dan Termal)

TABEL D-1. Ukuran Linear

	Inggris					Metrik	
	Inci	Feet	Yard	Mil	Sentimeter	Meter	Kilometer
Inci	1	0,08333	0,027778	-	2,54	0,0254	-
Feet	12	1	0,333333	-	30,48	0,3048	-
Yard	36	3	1	0,000568	91,44	0,9144	0,000914
Mil	63.360	5.280	1.760	1	160.934	1.609.34	1,6093
Sentimeter	0,393701	0,0328	0,010936	-	1	0,01	-
Meter	39,3701	3,28084	1,09361	0,00062	100	1	0,001
Kilometer	39.370,1	3.280,8	1.093,6	0,62137	100.000	1.000	1

1 rod, pole atau perch	= 5 1/2 yard	6 feet	= 1 fathom	= 1,8288 meter
4 pole	= 1 rantai	1 mil laut	= 1,151 mil	
40 pole = 10 rantai	= 1 furlong	1 mata (<i>link</i>)	= 7,92 inci	= 201,163 milimeter
8 furlong = 80 rantai	= 1 mil	1 rantai	= 100 mata	= 22 yard
3 mil	= 1 league	80 rantai	= 1 mil	

Ekuivalen Mikron

1 mikron = 1/1.000.000 meter = 1/1.000 milimeter = 1/25.000 inci

5 mikron = 2.500 mesh.

62 mikron = 200 mesh.

TABEL D-2. Ukuran Luas

	Inggris					Metrik		
	Inci psg	Feet psg	Yard psg	Mil psg	Are psg	Cm psg	Meter psg	Km psg
Inci psg	1	0,00694	0,000772			6,452	0,000451	
Feet psg	144	1	0,1111			929	0,092903	
Yard psg	1,296	9	1	0,00003228	0,0002066	8.361	0,83613	
Mil psg			3.097.600	1	640		2.590.000	2.590
Are psg		43,560	4,840	0,001562	1		4.046.87	0,004047
Cm psg	0,1550			–		1		–
Meter psg	1,550,00	10,764	1,19599			10.000	1	
Kilometer				0,386	247,104	10 ¹⁰	1.000.000	1

1 rod persegi atau pole persegi = 30,25 yard persegi = 272,25 feet persegi.

40 rod persegi = 1 rood = 1.210 yard persegi

4 rood = 160 rod persegi atau pole persegi = 4.840 yard persegi

640 are = 1 mil persegi

1 are = 3,954 rod persegi;

1 rod persegi = 0,2529 are

1 hektar = 2,47105 are;

1 akre = 0,4047 hektar

1 are = 100 meter persegi = 10 rantai persegi

TABEL D-3. Ukuran Volume

	Inggris					Metrik		
	Inci Kubik	Feet Kubik	Gallon Inggris	Gallon AS	Barel (A.S., Minyak Bumi)	Sentimeter Kubik	Liter	Meter Kubik
Inci Kubik	1			0,00433		16,3871	0,01638	
Feet Kubik	1.728	1	6,2288	7,48049	0,178108	28.316,91	28,3161	0,0283170
Gallon Inggris	277,42	0,160544	1	1,20094	0,028594	4.545,96	4,54596	0,0045456
Gallon AS	231,001	0,133681	0,83268	1	0,023810	3.785,33	3,78533	0,0037854
Barel (A.S., Minyak Bumi)	9.702	5,6146	34,9726	42,000	1	–	158,984	0,15899
Sentimeter Kubik	0,061024					1	0,001	0,000001
Liter	61,026	0,035316	0,219976	0,26417	0,0062898	1.000,0	1	0,001
Meter Kubik		35,315	219,969	264,172	6,2898	1.000.000	1.000.0	1

TABEL D-4. Ukuran Bobot

	Inggris				Metrik		
	Grain	Dram	Oz. AV	Lb. Av	Denier	Gram	Kilogram
Grain	1				1,296	0,06480	
Dram	27,34	1			35,437	1,772	
Oz. Av	437,5	16,0	1		566,99	28,35	0,02835
Lb. Av	7.000,0	256,0	16,0	1	9.071,84	453,592	0,43559
Denier	0,772				1	0,05	
Gram	15,4303		0,03527	0,002204	20,0	1	0,001
Kilogram	15.430,26	564,384	35,274	2,20462	20.000,0	1,000	1

TABEL D-5. Ukuran Bobot

	Inggris			Metrik	
	Pon Av.	Ton Inggris (Ton Panjang)	Ton Pendek	Kilogram	Ton Metrik
Pon Av.	1	0,0004464	0,0005	0,453592	0,0004536
Ton Inggris atau Ton Panjang	2.240,0	1	1,12	1.016,05	1,01605
Ton Pendek	2.000,0	0,892857	1	907,185	0,907185
Kilogram	2,20462	0,000984	0,001102	1	0,001
Ton Metrik	2.204,6	0,984210	1,10231	1.000,0	1

TABEL D-6. Kerja atau Energi: Mekanis, Listrik, dan Termal

	Mekanis			Listrik	Termal			
	D.K. Jam	Feet Pon	Kilogram Meter	K.W. Jam	B.T.U	Kilogram Kalori	Kalori	Therm
D.K. Jam	1	1.980.000	273.636	0,746	2.544,53	641,22	641.220	0,025445
Feet Pon	0,000000505	1	0,1382		0,001285		0,32385	
Kilogram Meter	0,00000365	7,233	1		0,009294	0,00234	2,3424	
K.W. Jam	1,340	2.653.200	366.672,24	1	3.411	859,60		0,03411
B.T.U	0,000393	778	107,563	0,000293	1	0,252	252,0	
Kilogram Kalori	0,001559	3.087,30	426,835	0,001163	3,96830	1	1.000	
Kalori		3,0873	0,42680		0,00397	0,001	1	
Therm	39,285			29,32	100.000	25.200		1

1 Feet Ton = 0,309 Ton-Meter Ton-Meter = 3,23 Feet Ton

TABEL D-7. Daya (Laju Pengerahan Energi) Mekanis, Listrik, dan Termal

	Mekanis				Listrik		Termal
	D.K	Feet Pon per Detik	Feet Pon per Menit	Force de Cheval*	Watt	Kilowatt	BTU per Menit
D.K	1	550,0	33.000	1,01387	745,70	0,7457	42,41
Feet Pon per Detik	0,00181818	1	60,0	0,001843	1,3564	0,00135582	0,07711
Feet Pon per Menit	0,0000303	0,01666	1	0,0000306	0,02261		
Force de Cheval*	0,98632	542,48	32.520,0	1	735,50	0,7355	41,82
Watt	0,0013405	0,73726	44,24		1	0,001	
Kilowatt	1,34102	737,56	44.236,0	1,35962	1.000	1	56,85
BTU per Menit	0,02358	12,9686	778,12		17,59	0,01759	1

*Nama lain untuk satuan ini ialah Dayakuda Metrik (75 kilogram meter/detik), "Cheval Vapeur," atau "Pferdekraft (PK)"

Indeks

A

A Policy on Geometric Design of Highways and Street 275
Akibat-akibat Pembagian Zona 73
Aksesibilitas 66
Alinyemen horizontal 180
Alinyemen vertikal 190
American Association of State Highway and Transportation 102
Analisis hubungan kecepatan, arus, dan kepadatan 126
Analisis sistem 7
Antar-hijau 285
Aplikasi teknis transportasi 5
Arus jenuh 293
Arus lalu-lintas 74
Arus tak berhenti 124
Arus berhenti 124

B

Bahu jalan 206
Bangkitan perjalanan 10
Bentuk wilayah perkotaan 61
Biaya 45
Biaya dan Produksi 49
Biaya marginal 46
Biaya rata-rata 45
Bis lintas 286
Bis lokal 286
Bundaran 281
Bureau of Transportation Statistics (BTS) 2

C

Clearance 120

D

Daerah pusat bisnis/DPB 60
Daerah-daerah persinggungan di persimpangan Jalan 278
Definisi ekonomi 30
Desain dan pelaksanaan operasional 266
Desain dan pengendalian persimpangan 274

Desain geometris jalan raya 158

Desain lokasi 158

Diagram-diagram trayek 136

Distribusi 12

E

Efisiensi 13
Ekonomi transportasi 30
Elastisitas biaya 50
Elastisitas dan penerimaan total 37
Elastisitas harga 37
Elastisitas pendapatan 37
Elastisitas silang 41
Elemen-elemen desain 173
Elemen-elemen penampang melintang 202
Elemen-elemen sistem pengaturan waktu lampu lalu-lintas 287

F

Faktor jam sibuk 285
Faktor penyesuaian kelaianan 249
Fase 284

G

Gap 118
Garis acuan 62
Gelombang kejut akibat kepadatan yang hampir sama 142
Gelombang kejut akibat pemberhentian 142
Gelombang kejut akibat permulaan 142
Gelombang kejut dan “leher botol” 137
Gesekan ban 108
Global Positioning System 24
Grid ekistik 4

H

Harga 31
Harga rata-rata 31
Headway keberangkatan rata-rata 285
Headway kritis 308
Highway Capacity Manual 194, 215
Hubungan kecepatan-kepadatan umum dan linier 130

Hukum pengurangan pengembalian 45
 Hukum peningkatan pengembalian berskala 45
 Hukum-hukum yang berhubungan dengan biaya 45

I

Infrastruktur 63
 Institute of Transportation Engineers 5
 Intelligent Transportation System/ITS 23
 Interaksi wilayah perkotaan 61
 Interchange 275
 Intermodal Surface Transportation Efficiency Act / 24
 Interval 284
 Interval merah-seluruhnya 285
 Interval persepsi 100
 Intisari sistem-sistem transportasi 14
 IVHS (Intelligent Vehicle Highway System) 23

J

Jalur sepeda dan pejalan kaki 209
 Jalur tengah pemisah jalan atau median 209
 Jaminan lampu lalu-lintas 311
 Jarak penglihatan 173
 Jarak penglihatan pada lengkungan horizontal 187
 Jarak penglihatan untuk berhenti 174
 Jarak penglihatan untuk mendahului 177
 Jarak penglihatan untuk pengambilan keputusan 176
 Jenis-jenis pengendalian persimpangan 278
 Jenis-jenis persimpangan 274

K

Kaki persimpangan 274
 Kanalisasi 280
 Kanal drainase 206
 Kapasitas 285
 Kapasitas daya-tampung 80
 Kapasitas jalan raya 214
 Kapasitas jalan raya dan kontrol-kontrol desain 171
 Kapasitas jalan raya dan tingkat pelayanan 215
 Kapasitas jalan raya dua-lajur 244
 Kapasitas jalan raya multi-lajur 233
 Kapasitas jalan tol 216
 Karakteristik arus lalu-lintas 114
 Karakteristik arus lalu-lintas di jalan tol 216
 Karakteristik kendaraan 102
 Karakteristik kendaraan dan manusia 94
 Karakteristik lalu-lintas 168
 Karakteristik pengemudi 96
 Karakteristik perkerasan 204
 Karakteristik-karakteristik dinamik kendaraan bergerak 106
 Karakteristik-karakteristik prediksi dan rencana tata-guna lahan 78
 Kategori-kategori arus lalu-lintas 124
 Kebijakan 8
 Kecepatan 115, 165

Kecepatan arus-bebas 170, 217
 Kecepatan desain 170
 Kecepatan gelombang 138
 Kecepatan laju 170
 Kecepatan merambat 138
 Kecepatan operasional 169
 Kecepatan rata-rata ruang 116
 Kecepatan rata-rata waktu 116
 Kemampuan pengemudi 163
 Kemiringan 190
 Kemiringan perkerasan 205
 Kendaraan 10
 Kendaraan dan dampak yang ditimbulkannya 160
 Kendaraan desain 159
 Kepadatan 117
 Kepadatan macet 128
 Kesalahan pengemudi 167
 Keseimbangan 284
 Ketentuan hukum 63
 Keterlibatan negara dan individu 2
 Ketinggian mata pengemudi dan ketinggian objek 179
 Kinematika kendaraan 102
 Klasifikasi model-model tata-guna lahan 79
 Kode 63
 Komplementaritas 9
 Komponen 7
 Komponen-komponen sistem lampu lalu-lintas 286
 Komponen-komponen sistem wilayah perkotaan 59
 Komunikasi 11
 Komunikasi, transportasi, dan kesenjangan transpor 16
 Konsekuensi 12
 Konsentrasi 117
 Koordinasi lampu lalu-lintas 315
 Kriteria desain dan pengendalian desain 159
 Kriteria untuk mengukur dan membandingkan struktur 63

L

Lampu lalu-lintas waktu-tetap 297
 Lebar lajur 205
 Leher botol 137
 Lengkungan transisi 185
 Lingkungan sekitar 11

M

Makroekonomi 30
 Manajemen dan tenaga kerja 11
 Manual on Uniform Traffic Control Devices 276
 Manual on Uniform Traffic Control Devices for Street 311
 Menentukan kecepatan arus-bebas 247
 Menentukan LOS 263
 Menentukan tingkat arus permintaan 249

- Menentukan tingkat pelayanan (LOS) 254
- Metode gradien peningkatan-kepadatan 81
- Metode Homberger dan Kell 291
- Metode perhitungan kendaraan-bergerak 134
- Metode Purdy 317
- Metode Webster 293
- Mikroekonomi 30
- Mobilitas 13
- Moda-moda yang dikendalikan secara individual
versus secara terpusat 150
- Model aksesibilitas Hansen 80
- Model arus lalu-lintas tak terhenti 125
- Model Greenberg 129
- Model Greenshields 128
- Model umum untuk arus aliran kendaraan 143
- Model-model makroskopis arus lalu-lintas 128
- Model-model pembangunan tata-guna lahan 79
- Model-model tata-guna lahan operasional 85

- N**
- National Highway System/NHS 25
- Nilai budaya 7
- Nilai lahan 73
- Nilai sosial 7

- O**
- Objektif 7
- Otoritas untuk instalasi lampu lalu-lintas 310

- P**
- Padanan kendaraan penumpang 285
- Parameter yang berhubungan dengan arus lalu-lintas
115
- Pembagian zona 63
- Pembangunan teknologi transportasi 23
- Pembatas tepi jalan 206
- Pemisahan tingkat 275
- Pendekatan 285
- Pendekatan simulasi pasar 79
- Pendekatan sistem 7
- Pendekatan untuk memahami arus lalu-lintas 115
- Penentuan desain 173
- Penentuan kebijakan 8
- Penentuan kebijakan transportasi 8
- Penentuan kecepatan arus-bebas 224
- Penentuan tingkat pelayanan 225
- Pengaluran di Persimpangan 280
- Pengaturan waktu 12
- Pengaturan waktu untuk lampu lalu-lintas individual
291
- Pengendalian akses 172
- Penggunaan Highway Capacity Manual 220
- Penghalang lalu-lintas 208
- Penginderaan 97
- Pengisian 118
- Pengisian lajur 118
- Pengolahan informasi 164
- Pengorganisasian ruang 11
- Peningkatan jumlah gelombang kejut 141
- Penundaan 286
- Penundaan persepsi 100
- Penundaan rata-rata 296
- Penyesuaian untuk kendaraan berat 250
- Peralatan pengendali lalu-lintas 275
- Peraturan subdivisi 63
- Perbandingan lampu hijau 286
- Percepatan tidak konstan 103
- Perencanaan komprehensif 62
- Perencanaan sistem jalan raya dua-lajur 263
- Pergerakan dan transportasi 9
- Perhitungan periode antar-hijau 289
- Perhitungan siklus minimum 301
- Perjalanan 10
- Perlindungan 12
- Permintaan tersamar 43
- Perputaran 281
- Persepsi 100
- Persepsi-reaksi 100
- Persimpangan sebidang 274
- Persimpangan tanpa rambu 281
- Pertimbangan dan tujuan desain 275
- Pertumbuhan atau penurunan wilayah perkotaan 77
- Perubahan siklus waktu lampu lalu-lintas 307
- Prometheus 23
- Lengkungan vertikal puncak 196

- R**
- Rambu berhenti 279
- Rambu pengarah 278
- Rambu pengaturan 278
- Rambu pengendalian kecepatan 280
- Rambu peringatan 278
- Rambu petunjuk 278
- Rentang waktu turunan 120
- Roadside Design Guide 208
- Ruang lingkup rekayasa transportasi 5
- Ruas jalan dua-arah 247
- Ruas jalan satu arah 255
- Rumus faktor tikungan kiri 299
- Rumus siklus optimum Webster 299

- S**
- Sarana perhubungan 10
- Sebuah kerangka kerja sederhana 95
- Sejarah perkembangan transportasi 2
- Sekilas tentang karakteristik-karakteristik sistem 10
- Sifat dasar teknik transportasi 6
- Sifat-sifat arus lalu-lintas 114
- Siklus 284
- Siklus optimum 301

- Sirkulasi dan pergerakan 11
 Sistem 7
 Sistem alternatif 315
 Sistem dan transportasi perkotaan 4
 Sistem eksotik 5
 Sistem multimoda 5
 Sistem progresif 315
 Sistem simultan 315
 Sistem tata-guna lahan/transportasi 59
 Sistem, tingkatan, dan klasifikasi transportasi 13
 Spacing 118
 SSVS (Super Smart Vehicle System) 23
 Strategi pengemudi 101
 Struktur ruang wilayah perkotaan 61
 Studi empiris tentang karakteristik arus lalu-lintas 128
 Studi-studi dasar mengenai kapasitas jalan tol 216
 Subsistem aktivitas 9
 Subsistem fisik 9
 Subsistem manusia 9
 Sumber daya 11
 Superelevasi 182
- T**
- Tahap-tahap dalam analisis sistem 8
 Tata-guna lahan 60
 Tata-guna lahan dan transportasi 74
 Terminal 10
 Tingkat arus 117
 Tingkat kemacetan yang dapat diterima 172
 Tingkat pelayanan 219, 286
 Tingkatan pergerakan 15
- Traffic Engineering Handbook 284
 Transferabilitas 9
 Transportasi dan kontinuitas 22
 Transportasi dan masalah-masalah yang berhubungan 19
 Transportasi sebagai sebuah sistem 1
 Transportation Equity Act for Twenty First Century 25
 Truk 286
- U**
- Ukuran biaya 7
 Ukuran efektivitas 7
 Ukuran keekonomian 46
 Unsur-unsur arsitektural 12
 Unsur-unsur simbolik 12
 Unsur-unsur visual 11
- V**
- Volume 117
 Volume kritis 286
 Volume lalu-lintas 168
 Volume per-jam 286
 Volume periode 286
- W**
- Waktu hijau 286
 Waktu marjinal 53
 Waktu reaksi 164
 Waktu siklus optimum 296
 Waktu-yang-hilang 294