



REKAYASA LALU LINTAS

Adrianto Sugiarto Wiyono
Fathan Mubina Dewadi
Rhapyalyani Herno Della
Gito Sugiyanto

Muhammad Syarif Prasetya Adiguna Rustam
Muhammad Djaya Bakri
Andi Ibrahim Yunus
Fathur Rahman Rustan
Rachmat Hidayat Dairi

ISBN 978-623-198-241-4



9 786231 982414



REKAYASA LALU LINTAS

Adrianto Sugiarto Wiyono

Fathan Mubina Dewadi

Rhapyalyani Herno Della

Gito Sugiyanto

Muhammad Syarif Prasetya Adiguna Rustam

Muhammad Djaya Bakri

Andi Ibrahim Yunus

Fathur Rahman Rustan

Rachmat Hidayat Dairi



PT GLOBAL EKSEKUTIF TEKNOLOGI

REKAYASA LALU LINTAS

Penulis :

Adrianto Sugiarto Wiyono
Fathan Mubina Dewadi
Rhaptalyani Herno Della
Gito Sugiyanto
Muhammad Syarif Prasetya Adiguna Rustam
Muhammad Djaya Bakri
Andi Ibrahim Yunus
Fathur Rahman Rustan
Rachmat Hidayat Dairi

ISBN : 978-623-198-241-4

Editor : Diana Purnama Sari, M.E

Penyunting : Tri Putri Wahyuni, S.Pd

Desain Sampul dan Tata Letak : Atyka Trianisa, S.Pd

Penerbit : PT GLOBAL EKSEKUTIF TEKNOLOGI

Anggota IKAPI No. 033/SBA/2022

Redaksi :

Jl. Pasir Sebelah No. 30 RT 002 RW 001
Kelurahan Pasie Nan Tigo Kecamatan Koto Tengah
Padang Sumatera Barat
Website : www.globaleksekutifteknologi.co.id
Email : globaleksekutifteknologi@gmail.com

Cetakan pertama, Juni 2023

Hak cipta dilindungi undang-undang

Dilarang memperbanyak karya tulis ini dalam bentuk
dan dengan cara apapun tanpa izin tertulis dari penerbit.

KATA PENGANTAR

Segala Puji dan syukur atas kehadiran Allah SWT dalam segala kesempatan. Sholawat beriring salam dan doa kita sampaikan kepada Nabi Muhammad SAW. Alhamdulillah atas Rahmat dan Karunia-Nya penulis telah menyelesaikan Buku Rekayasa Lalu Lintas ini.

Buku ini membahas Karakteristik manusia, Karakteristik kendaraan, Teknik survei dalam lalu lintas, *Traffic flow theory*, *Traffic shockwave*, Teori antrian, Rambu lalu lintas, Evaluasi kinerja lalu lintas, Rekayasa lalu lintas.

Proses penulisan buku ini berhasil diselesaikan atas kerjasama tim penulis. Demi kualitas yang lebih baik dan kepuasan para pembaca, saran dan masukan yang membangun dari pembaca sangat kami harapkan.

Penulis ucapkan terima kasih kepada semua pihak yang telah mendukung dalam penyelesaian buku ini. Terutama pihak yang telah membantu terbitnya buku ini dan telah mempercayakan mendorong, dan menginisiasi terbitnya buku ini. Semoga buku ini dapat bermanfaat bagi masyarakat Indonesia.

Padang, Juni 2023

Penulis

DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR	i
DAFTAR ISI	ii
DAFTAR GAMBAR	vi
DAFTAR TABEL	ix
BAB 1 FAKTOR MANUSIA.....	1
1.1 Pendahuluan.....	1
1.2 Kesalahan Manusia	2
1.3 Prinsip Kinerja Manusia.....	5
1.4 Pemrosesan Informasi.....	8
1.5 Perencanaan	14
1.6 Penutup	16
DAFTAR PUSTAKA.....	17
BAB 2 KARAKTERISTIK KENDARAAN.....	19
2.1 Pendahuluan.....	19
2.2 Kemacetan	20
2.3 Jenis-Jenis Transportasi	21
2.4 Soal-Soal Latihan.....	26
DAFTAR PUSTAKA.....	27
BAB 3 TEKNIK DALAM SURVEY LALU LINTAS.....	33
3.1 Survey Lalu Lintas	33
3.2 Tipe-tipe Survey Lalu Lintas.....	35
3.3 Metode Pelaksanaan Survey Lalu Lintas.....	39
3.3.1 Metode Intrusive.....	39
3.3.2 Metode Non-Intrusive	40
3.4 Kualitas Hasil Survey Lalu Lintas.....	41
3.4.1 Implikasi Pengumpulan Data Yang Buruk.....	41
3.4.2 Memilih Metode Yang Tepat Untuk Pengumpulan Lalu Lintas	42
3.5 <i>Artificial Intelligence</i> Dalam Survey Lalu Lintas	43
DAFTAR PUSTAKA.....	45

BAB 4 TEORI ARUS LALU LINTAS (TRAFFIC FLOW THEORY)	47
4.1 Pendahuluan.....	47
4.2 Arus Lalu Lintas	48
4.2.1 Jenis-jenis Arus Lalu Lintas.....	49
4.2.2 Faktor Jam Puncak (<i>Peak Hour Time</i>)	50
4.3 Kecepatan.....	51
4.4 Kerapatan atau Kepadatan (<i>Density</i>)	53
4.5 Hubungan antara Volume, Kecepatan, dan Kepadatan ...	53
DAFTAR PUSTAKA.....	61
BAB 5 TRAFFIC SHOCKWAVE	63
5.1 Pendahuluan.....	63
5.2 Traffic Shockwave pada Simpang Bersinyal.....	65
5.3 Model Greenshield, Greenberg dan Underwood	68
5.3.1 Model Greenshield.....	68
5.3.2 Model Greenberg.....	70
5.3.3 Model Underwood.....	71
DAFTAR PUSTAKA.....	73
BAB 6 TEORI ANTRIAN	75
6.1 Pendahuluan.....	75
6.2 Karakteristik Sistem Antrian.....	76
6.2.1 Karakteristik Kedatangan atau Masukan Sistem.....	76
6.2.2 Karakteristik Antrian	77
6.2.3 Karakteristik Pelayanan	78
6.3 Prinsip Teori Antrian	78
6.3.1 Distribusi Kedatangan.....	78
6.3.2 Distribusi Waktu Pelayanan.....	81
6.3.3 Tingkat Kedatangan dan Tingkat Pelayanan.....	82
6.4 Proses Antrian	83
6.5 Parameter Antrian	84
6.6 Model Antrian	84
6.6.1 Model Antrian M/M/1.....	84
6.6.2 Antrian Tandem	88

6.6.3 <i>First Vacant First Out (FVFO)</i>	88
6.7 Manfaat Teori Antrian.....	94
DAFTAR PUSTAKA.....	95
BAB 7 RAMBU LALU LINTAS.....	97
7.1 Pendahuluan.....	97
7.2 Pengertian.....	97
7.3 Fungsi Rambu Lalu Lintas.....	98
7.4 Berbagai macam Rambu Lalu Lintas.....	100
7.5 Fasilitas Rambu Lalu Lintas	115
7.6 Klasifikasi Rambu Lalu Lintas.....	118
7.7 Manfaat Rambu Lalu Lintas	118
7.8 Komponen Lalu Lintas.....	119
DAFTAR PUSTAKA.....	121
BAB 8 EVALUASI KINERJA LALU LINTAS.....	123
8.1 Pendahuluan.....	123
8.2 Kategorisasi Jalan.....	124
8.2.1 Penggolongan Menurut Faedah/Manfaat.....	124
8.2.2 Penggolongan Menurut Layanan Jasa Distribusi.....	124
8.2.3 Penggolongan Menurut Peranan	124
8.2.4 Penggolongan Menurut Status dan Kewenangan Pengelolaan	125
8.2.5 Penggolongan Menurut Standar Perencanaan Jalan.....	126
8.3 Keterkaitan Antara Kecepatan, Volume, dan Kepadatan Lalu Lintas	126
8.4 Perhitungan Evaluasi Kinerja Lalu Lintas.....	130
DAFTAR PUSTAKA.....	135
BAB 9 REKAYASA LALU LINTAS.....	137
9.1 Pendahuluan.....	137
9.2 Komponen Lalu Lintas.....	139
9.2.1 Komponen sistem lalu lintas.....	139
9.2.2 Manusia sebagai pengguna,.....	139
9.2.3 Kendaraan	140

9.2.4 Jalan.....	140
9.3 Karakteristik Lalu Lintas	140
9.3.1 Diagram Ruang Waktu	140
9.3.2 Arus dan kepadatan	141
9.3.3 Kecepatan	142
9.3.4 Headway	143
9.4 Hubungan Arus dengan Kecepatan dan Kepadatan.....	144
9.5 Satuan Mobil Penumpang.....	145
9.6 Tingkat pelayanan jalan	146
9.6.1 Tingkat Pelayanan Tergantung Arus (<i>Flow</i> <i>Dependent</i>)	146
9.6.2 Kualitas layanan bervariasi per fasilitas (<i>Facility</i> <i>Dependent</i>)	150
DAFTAR PUSTAKA.....	152
BIODATA PENULIS	

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1.	Generic Error-Modelling System	3
Gambar 1.2.	Proses pengambilan keputusan oleh pengemudi.....	13
Gambar 2.1.	Urutan Negara Termacet di Dunia.....	19
Gambar 2.2.	Jenis-Jenis Transportasi.....	21
Gambar 2.3.	Macam-Macam Transportasi Darat.....	22
Gambar 2.4.	Macam-Macam Transportasi Air.....	24
Gambar 2.5.	Macam-Macam Transportasi Udara.....	25
Gambar 3.1.	Tujuan Studi Survei Volume Lalu Lintas	35
Gambar 4.3.	Grafik hubungan antara volume dan kecepatan.....	55
Gambar 4.4.	Grafik hubungan antara kecepatan dan kepadatan.....	56
Gambar 4.5.	Grafik hubungan antara volume dan kepadatan.....	57
Gambar 4.6.	Kurva hubungan antara kecepatan rata-rata, kepadatan/kerapatan, dan arus.....	58
Gambar 4.7.	Bentuk umum hubungan kecepatan dan arus	60
Gambar 4.8.	Hubungan antara kecepatan dan arus untuk kondisi standar dan bukan standar	61
Gambar 5.1.	Diagram Kurva Traffic Shockwave.....	66
Gambar 5.2.	<i>Traffic Shockwave pada perlintasan Kereta Api.....</i>	68
Gambar 5.3.	Kurva hubungan Kecepatan, Kepadatan dan Volume.....	71
Gambar 5.4.	Hubungan Kepadatan Kecepatan Oleh Greenberg.....	73
Gambar 5.5.	Hubungan Kepadatan Kecepatan Oleh Underwood.....	74

Gambar 6.1. Distribusi Poisson untuk kedatangan $\lambda = 0,1$ kendaraan/detik.....	81
Gambar 6.2. Contoh Distribusi Eksponensial Negatif.....	82
Gambar 6.3. Perbandingan tingkat kedatangan dan tingkat pelayanan	82
Gambar 6.4. Tahapan dalam proses antrian.....	83
Gambar 6.5. Disiplin antrian FVFO.....	89
Gambar 6.6. Biaya-biaya di dalam model antrian.....	94
Gambar 7.1. Rambu-Rambu Lalu Lintas Perintah.....	101
Gambar 7.2. Panah Kiri.....	101
Gambar 7.3. Panah Kanan.....	101
Gambar 7.4. Balik arah Kiri.....	102
Gambar 7.5. Balik arah Kanan.....	102
Gambar 7.6. Panah Atas.....	102
Gambar 7.7. Simpang Kiri.....	102
Gambar 7.8. Simpang Kanan.....	103
Gambar 7.9. Kecepatan Minimum.....	103
Gambar 7.10. Rambu Larangan.....	104
Gambar 7.11. Stop.....	104
Gambar 7.12. Stop.....	105
Gambar 7.13. Maksimum.....	105
Gambar 7.14. Stop.....	105
Gambar 7.15. Tidak Boleh Parkir.....	106
Gambar 7.16. Tidak Boleh Putar Balik.....	106
Gambar 7.17. Tidak Boleh Ke Kiri.....	107
Gambar 7.18. Tidak Boleh Ke Kanan.....	107
Gambar 7.19. Rambu peringatan	108
Gambar 7.20. Panah Melingkar.....	108
Gambar 7.21. Penuntun Seru.....	109
Gambar 7.22. Penuntun Plus	109
Gambar 7.23. Percabangan.....	109
Gambar 7.24. Percabangan.....	110
Gambar 7.25. Dua Arah.....	110

Gambar 7.26.	Rambu Penuntun dan Maknanya.....	111
Gambar 7.27.	Percabangan.....	111
Gambar 7.28.	Haluan.....	112
Gambar 7.29.	Jalan Tol.....	112
Gambar 7.30.	Rumah Sakit.....	112
Gambar 7.31.	Pompa Bensin.....	113
Gambar 7.32.	Ranjang.....	113
Gambar 7.33.	Jalan Kaki.....	113
Gambar 7.34.	Bus.....	114
Gambar 7.35.	Rambu Papan Aksesoris.....	115
Gambar 7.36.	Komponen Sistem Lalu Lintas	119
Gambar 8.1.	Grafik Hubungan Antara Kecepatan, Volume, dan Kepadatan Arus Lalu Lintas	128
Gambar 9.1.	Komponen Lalu Lintas.....	130
Gambar 9.2.	Diagram Ruang Waktu	141
Gambar 9.3.	Jarak Antara Dan Waktu Antara	144
Gambar 9.4.	Pelayanan Jalan.....	147
Gambar 9.5.	Pengaruh Nisbah Waktu Perjalanan Dengan Nisbah Volume/Kapasitas.....	151

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1. Provinsi di Indonesia dengan Kendaraan Bermotor Terbanyak.....	20
Tabel 5.1. Pertumbuhan Kendaraan 2018 – 2020	63
Tabel 6.1. Hubungan antara antrian pada stasiun tunggal dengan kedatangan Poisson dan waktu pelayanan eksponensial untuk beberapa kondisi keadaan tetap	85
Tabel 6.2. Hubungan antara antrian pada stasiun tandem dengan kedatangan Poisson dan waktu pelayanan eksponensial untuk beberapa kondisi keadaan tetap	90
Tabel 6.3. Perbandingan hasil analisis disiplin antrian FIFO dengan.....	91
Tabel 8.1. Tipe dan Deskripsi Tingkat Pelayanan Jalan.....	133
Tabel 9.1. Satuan Mobil Penumpang	146

BAB 1

FAKTOR MANUSIA

Oleh Adrianto Sugiarto Wiyono

1.1 Pendahuluan

Faktor manusia (*human factor*) terkait dengan kecelakaan lalu lintas sering disajikan sebagai faktor penyebab terbesar. Hal tersebut dapat diterima mengingat bahwa kendaraan tanpa manusia yang mengendalikannya memiliki risiko yang sangat rendah untuk menjadi penyebab kecelakaan, sebagai contoh, kendaraan yang diam dibanding kendaraan yang sedang bergerak karena dikemudikan dengan kecepatan tertentu, tentu akan lebih berisiko kendaraan yang sedang bergerak. Semakin tinggi kecepatan Bergeraknya kendaraan semakin tinggi pula risikonya. Belum lagi adanya interaksi dengan pengguna jalan lain dalam sistem transportasi jalan maka akan semakin meningkatkan risikonya.

Treat et.al. (1976) dalam penelitiannya yang dilakukan di Amerika Serikat menemukan bahwa faktor manusia dalam keterlibatannya terhadap kecelakaan lalu lintas adalah sekitar 65% dan merupakan yang terbesar dibandingkan dua faktor lainnya seperti kendaraan dan lingkungan (Shinar, 2008). Faktor manusia dari sudut pandang teknik/perekayasaan didefinisikan sebagai profesi teknik yang fokus terhadap interaksi antara orang dengan tugas, mesin, atau komputer dan lingkungan, dengan perhatian bahwa manusia memiliki keterbatasan dan kemampuan ("Human Performance Improvement Handbook, Volume 1," n.d.), selain itu faktor manusia juga didefinisikan sebagai disiplin profesional dengan perhatian terhadap peningkatan integrasi isu-isu manusia terhadap analisis, desain, pengembangan, implementasi, dan

penggunaan operasional dari sistem kerja(Widdowson and Carr, 2002). Dari sudut pandang psikologi, faktor manusia didefinisikan sebagai bagian dari industrial/organisasional psikologi yang mempelajari tentang peningkatan rancangan dan fungsi dari mesin dan lingkungan kerja agar bertemu dengan kebutuhan dari manusia sebagai pengguna yang lebih baik(Huffman, 2006). Lebih luas, Richard Batt dari Australian Transport Safety Bureau (ATSB) mendefinisikan faktor manusia sebagai multidisiplin ilmu yang mengaplikasikan pengetahuan tentang kemampuan dan batasan dari kinerja manusia terhadap seluruh aspek dari desain, operasi, dan perawatan dari produk dan sistem(Utomo et al., 2021).

Meskipun banyak pandangan tentang faktor manusia, namun secara umum terlihat bahwa bahasan tentang faktor manusia adalah berfokus kepada interaksi manusia dengan sistem teknologi dan lingkungan kerjanya yang di dalamnya menyangkut rancangan dan batasan kemampuan manusia. Interaksi antara manusia dengan sistem teknologi dan lingkungan kerjanya dapat mengarah kepada yang disebut dengan kesalahan manusia (*human error*).

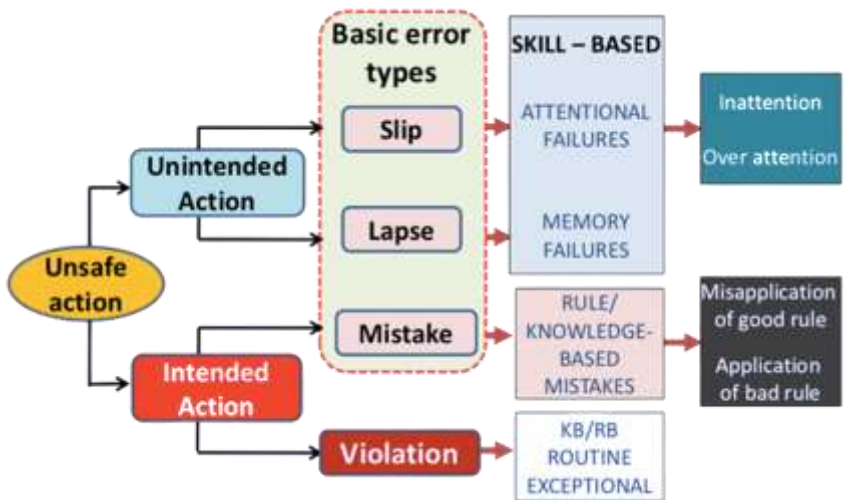
1.2 Kesalahan Manusia

Kesalahan manusia (*human error*) adalah sesuatu yang berbeda dengan pelanggaran (*violation*). Keduanya seringkali saling tercampur aduk, sehingga batasan antara keduanya sulit untuk dipahami. Untuk memudahkan dalam memahami perbedaan keduanya berikut sebuah contoh kasus.

“Seorang pengendara sepeda motor ketika sampai di sebuah perempatan berbelok ke kiri. Sesaat setelah berbelok, pengendara motor tersebut mendapati bahwa ternyata jalan tersebut satu arah, dengan kata lain posisi pengendara tersebut menjadi melawan arah arus lalu lintas.”

Untuk dapat menentukan bahwa kejadian dari kasus di atas Untuk dapat menentukan bahwa kejadian dari kasus di atas

termasuk kesalahan manusia (*error*) atau suatu pelanggaran (*violation*) perlu diketahui tentang definisi dan konsep tentang kesalahan terlebih dahulu. Kesalahan manusia (*human error*) didefinisikan oleh James Reason (1990) sebagai kegagalan dari aksi perencanaan untuk mencapai konsekuensi harapan (Reason et al., 1990), senada dengan Reason, Richard Batt mendefinisikannya sebagai kegagalan dari rencana aksi untuk mencapai tujuan yang diinginkan (Utomo et al., 2021). Lebih lanjut Reason menjelaskan bahwa mengacu kepada Rasmussen (1980) ada tiga kesalahan mendasar yaitu silap (*slip*), lupa (*lapse*), dan keliru (*mistake*). Pemikiran Reason lebih detail dapat dilihat pada gambar 1.1.



Gambar 1.10. Generic Error-Modelling System, Reason (1990)
Sumber: Human Factors Training Handbook, KNKT (2021)

Dari gambar 1.1 di atas terlihat bahwa adanya perbedaan antara kesalahan yang mendasar dengan pelanggaran (*violation*). Silap (*slip*) merupakan tindakan yang tidak disengaja, terkait dengan kegagalan perhatian, lupa (*lapse*) juga merupakan tindakan

yang tidak disengaja namun terkait dengan kegagalan memori, dan keliru (*mistake*) merupakan merupakan tindakan yang disengaja terkait dengan aturan dan pengetahuan, sedangkan pelanggaran (*violation*) adalah suatu tindakan yang disengaja secara rutin melawan aturan atau pengetahuan.

Kembali pada contoh di atas tentang pengendara sepeda motor yang memasuki jalur satu arah, termasuk manakah pengendara tersebut? Hal ini tidak dapat diputuskan seketika tanpa melakukan investigasi terlebih dahulu. Jika hasil investigasi diperoleh informasi bahwa pengendara terlalu fokus kepada alamat yang dituju melalui peta yang dilihatnya sebelum berkendara sehingga tidak memperhatikan adanya rambu dilarang belok kiri maka termasuk kategori silap (*slip*). Jika hasil investigasi diperoleh bahwa pengendara sudah lama tidak melewati jalan tersebut dan disangkanya untuk menuju alamat yang dituju dapat melalui jalan belok kiri tersebut maka hal ini masuk dalam kategori lupa (*lapse*). Lain lagi jika diperoleh hasil bahwa pengendara tersebut berbelok kiri karena mengikuti perintah GPS (*Global Positioning System*), maka hal ini dapat masuk dalam kategori keliru (*mistake*), sedangkan jika memang setiap hari pengendara motor ini selalu melawan arus dengan berbelok kiri karena merasa itu adalah rute terpendek, maka dapat masuk dalam kategori pelanggaran (*violation*).

Analisis dari kasus di atas terlihat bahwa tidak mudah untuk menentukan dalam waktu singkat, karena mungkin saja jika dikaji lebih lanjut tidak termasuk sebagai sebuah kekeliruan namun masuk pada kategori kesilapan. Kesalahan manusia (*human error*) ini adalah sesuatu yang wajar dan sangat mungkin terjadi pada manusia lain jika mengalami kondisi yang serupa.

Dalam kasus lain katakanlah terjadi kasus rem blong dari sebuah kendaraan. Pengemudi dapat dikatakan silap jika perhatiannya terganggu karena pengemudi memperhatikan seperti baliho iklan dan terlambat melakukan pengereman ketika

kendaraan di depannya sudah melakukan perlambatan sehingga terjadi tabrak belakang. Dikatakan lupa jika teknik pengereman yang dilakukannya salah karena kegagalan mengingat pelajaran tentang pengereman, sedangkan jika melakukan pilihan suatu teknik pengereman namun tidak berhasil akan disebut keliru.

Mengingat bahwa manusia merupakan pusat pengambilan keputusan sebelum suatu kecelakaan terjadi, maka sebelum menentukan cara apa yang harus dilakukan untuk mereduksi kecelakaan yang disebabkan oleh kesalahan manusia, maka perlu dipahami tentang kinerja manusia (*human performance*).

1.3 Prinsip Kinerja Manusia

Manusia adalah pengambil keputusan atas tindakannya. Setiap keputusan dan tindakan akan selalu ada konsekuensinya, baik itu konsekuensi positif maupun konsekuensi negatif. Mengacu kepada dokumen ICAO 9859 tentang *Safety Management Manual*, disebutkan bahwa kesalahan merupakan kegagalan dari kinerja seseorang/manusia (ICAO Doc 9859 *Safety Management Manual*, 2018).

Departemen Energi Amerika Serikat menyusun lima statemen sederhana tentang prinsip kinerja manusia agar dapat dipahami bagaimana manusia berperilaku dan diambil pencegahan atau tindakan untuk meningkatkan kinerjanya terutama dalam berkeselamatan. Berikut adalah lima statemen tersebut ("Human Performance Improvement Handbook, Volume 1," n.d.).

- 1) *Orang mungkin untuk terjatuh, dan bahkan yang terbaik pun melakukan kekeliruan.*

Hal yang perlu dipahami bahwa setiap orang memiliki potensi untuk melakukan kesalahan tanpa memandang usia, pengalaman, pendidikan, gender, dsb. Tidak ada cara untuk menghilangkan potensi melakukan kesalahan, karena potensi itu akan selalu ada meskipun orang tersebut sudah pernah

mengikuti berbagai macam pelatihan maupun kegiatan terkait keselamatan.

- 2) *Situasi mungkin-salah adalah sesuatu yang dapat diprediksi, dapat dikelola, dan dapat dicegah.*

Meskipun secara umum potensi kesalahan tidak dapat dihilangkan, namun kesalahan spesifik dapat dicegah. Sebagai contoh, fitur *auto-cancel* saklar lampu sinyal pada kendaraan digunakan untuk mencegah kesalahan lupa mematikan lampu sinyal.

- 3) *Perilaku individual dipengaruhi oleh proses dan nilai dari organisasi.*

Tingkat kepedulian suatu organisasi/perusahaan terhadap keselamatan anggota/karyawannya akan mempengaruhi perilaku dari anggota/karyawannya. Misal suatu perusahaan yang sangat peduli terhadap keselamatan karyawannya dengan melakukan penerapan secara ketat ISO 39001 tentang *Road Traffic Safety Management System* (RTSMS) yang berdampak terhadap perilaku dari para karyawan dalam berinteraksi di jalan raya.

- 4) *Orang mencapai kinerja tertinggi karena dorongan dan penguatan yang diterima dari pimpinan, sejawat, dan bawahan.*

Perilaku seseorang salah satunya dibentuk oleh lingkungan yang mendukungnya termasuk konsekuensi ketika melakukan sesuatu. Demikian pula dengan perilaku berkeselamatan akan dapat terbentuk dengan baik jika penguatan-penguatan selalu dilakukan. Bentuk-bentuk penguatan ini dapat berupa kegiatan rutin seperti pelatihan, *safety session*, dsb. Selain itu juga diberikan dukungan jika mengalami cedera karena kecelakaan dsb. Tentunya juga diberikan teguran sampai dengan tindakan hukuman jika terbukti melakukan pelanggaran aturan keselamatan.

- 5) *Kejadian dapat dihindari melalui sebuah pemahaman tentang penyebab kekeliruan terjadi dan pengaplikasian dari pelajaran yang didapat dari kejadian-kejadian sebelumnya (atau kesalahan).*

Seringkali pendekatan penanganan suatu kecelakaan adalah reaktif, yaitu akan ada tindakan jika kecelakaan telah terjadi. Tindakan proaktif untuk mencegah terjadinya kecelakaan dengan belajar dari pengalaman-pengalaman baik internal maupun eksternal tentu lebih baik karena lebih berbiaya rendah dibandingkan reaktif.

Kinerja manusia juga dipengaruhi oleh kemampuan kognitif, afektif, dan psikomotorik. Kemampuan kognitif terkait dengan pengetahuan (*knowledge*) yang dimiliki oleh pengemudi kendaraan, afektif terkait dengan sikap (*attitude*) pengemudi, dan psikomotorik adalah hal yang terkait dengan keterampilan (*skill*) dari pengemudi. Ketiga hal ini harus dimiliki oleh pengemudi agar dapat mengemudikan kendaraan secara berkeselamatan, dalam bahasa lain menjadi pengemudi yang kompeten.

Sebagai contoh dari pentingnya memiliki ketiga hal di atas, misalnya adalah tentang adanya teknologi yang disebut dengan sabuk keselamatan tiga titik (*three points safety belt*). Seorang pengemudi harus memiliki pengetahuan tentang manfaat dan dari sabuk keselamatan agar dapat menggunakannya sesuai dengan yang telah dirancang oleh manufaktur. Dari sisi keterampilan, pengemudi mampu mengenakannya ketika mengemudikan kendaraan. Sikap dari pengemudi ditentukan dari selalu berusaha mengenakan sabuk keselamatan meskipun dirasa kurang nyaman. Seandainya salah satu dari ketiga hal di atas kurang, maka dapat mengarah kepada kecelakaan yang seharusnya dapat dihindari/dicegah. Misalnya seorang pengemudi tidak mengetahui tentang manfaat sabuk keselamatan, tentu akan memandang sabuk

hanya sebagai hiasan pada kendaraan, keterampilan tentunya tidak akan dimiliki, karena pengetahuannya tidak cukup, bahkan sikapnya akan acuh tak acuh terhadap sabuk keselamatan.

Contoh lain misalnya tentang adanya teknologi yang disebut dengan rem. Seorang pengemudi memiliki pengetahuan tentang manfaat cara kerja rem termasuk cara menggunakannya. Sikapnya terhadap sistem penghenti ini pun bagus dengan melakukan perawatan berkala, namun ketika mengemudikan kendaraan pengemudi tersebut tersilap perhatiannya dan terlambat melakukan pengereman sehingga terjadi tabrakan. Dalam kasus ini adanya kekurangan keterampilan yang kemudian menyebabkan kecelakaan. Keterampilan yang dibutuhkan oleh pengemudi tersebut adalah keterampilan untuk tetap memerhatikan jalan dan tidak mudah teralihkan.

1.4 Pemrosesan Informasi

Aksi yang dilakukan oleh pengemudi ketika mengemudi ditentukan oleh informasi yang dimiliki sebelumnya, sederhananya jika pengemudi tidak pernah mempelajari tentang teknik mengerem yang baik, bagaimana pengemudi tersebut akan melakukan pengereman dengan baik?

Dalam berbagai pelatihan diajarkan tentang prosedur dan panduan mengemudi seperti Smith System (Smith System Driver Improvement Institute, Inc., 2003) dan berbagai singkatan seperti proses IPDE/SIPDE, SEE (*Basic Rider Course*, 2014), PIEV (Putranto, 2016), dsb. Berikut penjelasan dari berbagai istilah tersebut:

1) *Smith System*

Smith system merupakan panduan mengemudi yang dikembangkan oleh Harold Smith pada tahun 1948 dengan harapan dapat memberikan jarak yang cukup bagi kendaraan, kemampuan pandang dari pengemudi, dan waktu yang cukup untuk mengambil keputusan selama mengemudi. Berikut adalah isi panduan tersebut.

- a) *Aim the high steering*
Pandang jauh ke depan, pengemudi diharapkan melihat tidak hanya sedekat sekitar kendaraan, tapi sejauh mungkin yang dapat dijangkau oleh mata sehingga pengemudi dapat lebih awal mendeteksi berbagai potensi risiko yang mungkin dapat terjadi untuk ditentukan langkah yang akan dilakukan demi menghindari atau meminimalisasi risiko tersebut.
- b) *Get the big picture*
Dapatkan gambaran secara menyeluruh, dalam hal ini pengemudi harus dapat memprediksi interaksi yang akan terjadi di sepanjang jalan yang akan dilaluinya. Salah satu caranya adalah dengan melihat jauh ke depan.
- c) *Keep your eyes moving*
Selalu gerakkan mata demi mendapatkan informasi sebanyak-banyaknya sehingga antisipasi terhadap potensi risiko dapat dideteksi lebih awal.
- d) *Leave yourself an out*
Sediakan ruang untuk menghindar, adalah diharapkan dalam mengemudi, pengemudi membuat area aman (buffer zone) seperti jaga jarak dengan kendaraan depan agar cukup ruang ketika terjadi pengereman mendadak dan tidak menabrak kendaraan di depannya. Dengan kata lain, pengemudi harus memperhitungkan atau membuat sendiri area-area kosong yang dapat digunakan untuk menyelamatkan diri dalam kondisi darurat.
- e) *Make sure they see you*
Pastikan pengguna jalan lain melihat kita, karena mengemudi tidak hanya tentang pengemudi dan kendaraannya sendiri namun juga interaksi dengan pengguna jalan lain, sehingga harapannya pengemudi berkomunikasi dengan pengguna jalan lain, baik melalui lampu sein, klakson dsb. Komunikasi ini diharapkan dapat

memastikan bahwa para pengguna jalan saling mengetahui apa yang harus dilakukan.

2) *IPDE/SIPDE*

IPDE/SIPDE merupakan singkatan dari prosedur mengemudi yang digunakan di berbagai negara. Perbedaan di antara keduanya adalah hanya pada huruf 'S', selebihnya sama. Berikut adalah kepanjangan dari SIPDE.

a) *Search*

Sebagai pengemudi kendaraan diharapkan selalu mencari informasi sebanyak-banyaknya tentang kondisi di sekitarnya dengan menggerakkan mata.

b) *Identification*

Mengidentifikasi berbagai objek atau pengguna jalan lain di sepanjang jalan yang dilalui dan akan dilaluinya, misalnya mengidentifikasi bahwa ada pedestrian yang sedang berhenti di trotoar.

c) *Predict*

Memprediksi interaksi seperti apa yang akan terjadi di antara para pengguna jalan terhadap jalur dan kendaraan dari pengemudi. Misalnya memprediksikan bahwa pedestrian yang sedang berhenti akan melakukan tindakan menyeberang atau mungkin tetap berada di trotoar.

d) *Decide*

Menetapkan berbagai macam keputusan dari prediksi yang telah dilakukan. Misalnya memutuskan bahwa jika pedestrian tetap ada pada trotoar maka pengemudi akan tetap melaju pada lajunya, sedangkan jika menyebrang maka akan melakukan proses pengereman.

e) *Execute*

Melakukan eksekusi atas keputusan yang telah dibuat jika salah satu atau seluruh prediksi yang dibuat terjadi. Misalnya ternyata pedestrian menyeberang, maka eksekusi

atas keputusan melakukan proses pengereman harus dilaksanakan.

3) *SEE*

SEE adalah prosedur mengemudi yang dikembangkan oleh *Motorcycle Safety Foundation* (MSF) yang merupakan singkatan dari urutan yang harus dilakukan oleh pengemudi kendaraan selama mengemudi. Tidak berbeda dengan proses SIPDE dan hanya meringkas proses IPD menjadi satu 'E'. Urutan proses *SEE* adalah *Search – Examine – Execute*.

4) *PIEV*

Proses *PIEV* ini sedikit berbeda dibandingkan proses di atas sebelumnya, karena melibatkan proses 'E' yaitu emosi.

a) *Perception*

Persepsi adalah segala sesuatu yang diterima oleh panca indra. Dalam hal ini, semua hal yang ditangkap oleh panca indra pengemudi dianggap sebagai informasi yang berguna dalam pengambilan keputusan selama mengemudi. Tidak hanya melibatkan indra penglihatan, namun juga pendengaran dan indra lainnya.

b) *Identification*

Identifikasi di sini adalah menentukan informasi apa yang telah diterima oleh panca indra sebelumnya. Misalnya setelah mendengar suara klakson, diidentifikasi klakson dari kendaraan yang mana? Tekanan suara klakson juga diidentifikasi apakah bunyi klakson tersebut merupakan sapaan, perintah minggir, atau suatu kemarahan.

c) *Emotional*

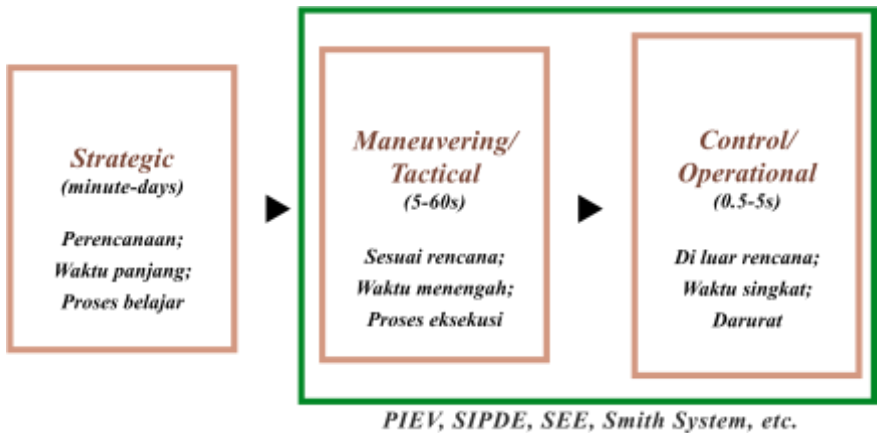
Emosi akan sangat menentukan keputusan dan eksekusi pengemudi. Emosi dibagi menjadi emosi positif dan emosi negatif. Emosi positif adalah emosi ketika merasa senang, gembira, terharu, dsb., sedangkan emosi negatif adalah

emosi ketika merasakan kemarahan, kesedihan, dsb. Sebagai contoh, setelah mengidentifikasi suara klakson bahwa suara tersebut adalah suara perintah minggir, jika emosi positif yang dominan maka dapat terjadi dengan mudah memberikan jalan, sedangkan jika emosi negatif yang dominan maka dapat terjadi seperti melakukan penutupan jalan (blocking) sehingga mengarah kepada hal-hal yang tidak diinginkan.

d) Volition

Yang dimaksud dengan volition di sini adalah kehendak atau keputusan atau eksekusi atau tindakan yang akan dilakukan pengemudi sesuai dengan pertimbangan emosinya.

Dari keempat prosedur/panduan dalam mengemudi di atas merupakan proses yang ada di ujung, yaitu proses taktis dan operasional(Wiyono, 2022). Sebelum sampai pada ujung tersebut menurut Janssen (1979), Lee dan Strayer (2004) bahwa terdapat urutan yaitu strategis, manuver/taktis, kendali/operasional. Keputusan pada tingkat operasional akan sangat dipengaruhi oleh proses sebelumnya, yaitu taktis dan strategis. Terlihat pada titik awal, yaitu proses strategis memerlukan waktu dari menit sampai dengan berhari-hari, hal ini wajar karena merencanakan perjalanan perlu waktu untuk memikirkannya, terlebih jika tidak cukup informasi yang dimiliki. Informasi yang dimiliki antara lain informasi tentang jalan, cara mengemudi yang baik dan benar, bahkan pengetahuan tentang regulasi lalu lintas yang tentu saja tidak akan dapat dikuasai dalam waktu sekejap.



Gambar 1.11. Proses pengambilan keputusan oleh pengemudi
Sumber: Adrianto (2021)

Human information processing (HIP) merupakan proses yang kompleks. Keputusan dari proses tersebut tergantung pada informasi yang dimilikinya, jika memiliki informasi yang cukup maka boleh jadi keputusan yang dibuatnya adalah tepat. Masalah muncul jika seseorang dalam hal ini pengemudi tidak memiliki informasi yang cukup atau terburuk tidak memiliki informasi sama sekali ketika suatu kondisi terjadi, tentu keputusan yang diambil akan bersifat untung-untungan.

Proses belajar dan menghadapi berbagai kondisi pun juga dipengaruhi oleh karakteristik dari pengemudi itu sendiri. Para ahli banyak membagi karakteristik seseorang dengan berbagai metode atau *personality test* untuk mengelompokkan orang dalam kepribadian atau karakteristik tertentu, seperti *Myers-Briggs Type Indicator* (MBTI), *Big-Five Personality Traits*, *Dominance-Influence-Steadiness-Conscientiousness* (DISC), bahkan menggolongkan atas dasar horoskop maupun shio, dsb.

1.5 Perekrayasaan

Pengemudi kendaraan sebagai manusia memiliki kemampuan dan keterbatasannya. Hal-hal tersebut yang perlu menjadi perhatian dalam perekrayasaan demi keselamatan bersama. Perekrayasaan dari sisi manufaktur kendaraan, dilakukan dengan menambahkan berbagai fitur keselamatan terutama dalam bentuk *active safety*. Fitur *active safety* sesuai namanya akan selalu aktif memonitor baik manusia, kendaraan, maupun lingkungannya untuk kemudian memberikan peringatan kepada pengemudi agar melakukan suatu tindakan bahkan saat ini kendaraan pun dibuat untuk dapat memutuskan suatu tindakan. Berikut beberapa fitur *active safety* yang disematkan pada kendaraan yang ada di pasaran saat ini.

1) *Anti-lock Braking System (ABS)*

Sensor pada sistem ini akan selalu memonitor putaran roda, jika sampai roda dinilai terkunci maka ABS akan mengendurkan tekanan pada piringan rem atau tromol agar roda dapat kembali berputar sesaat untuk kemudian dilakukan penekanan kembali oleh ABS secara berulang-ulang, sehingga ban akan terlihat berputar-berhenti-berputar-berhenti dengan jeda waktu yang cukup rapat sekitar 10 kali tekanan per detik.

Faktor manusia yang dituju adalah kekeliruan (*mistake*) yang dilakukan oleh pengemudi. Pengetahuan bahwa menghentikan kendaraan harus dengan menginjak rem sepenuhnya (tekanan 100%) akan menjadi salah dalam kondisi darurat dan panik. Masalah yang muncul ketika pedal rem ditekan sepenuhnya dalam kondisi darurat dan panik adalah akan terjadi skid atau selip pada ban kendaraan yang akan membuat kendaraan tidak dapat dikendalikan. Dengan adanya ABS maka diharapkan adalah kendaraan masih dapat dikendalikan oleh pengemudi.

2) *Lane Departure Warning (LDW)*

LDW secara aktif akan membaca marka jalan, jika terdeteksi kendaraan melewati marka jalan maka sistem LDW akan memberikan peringatan kepada pengemudi untuk segera kembali ke lajunya. Pada sistem yang lebih lanjut, sistem ini akan secara otomatis mengembalikan kendaraan ke lajur semula.

Faktor manusia yang dituju dari sistem ini adalah jika pengemudi silap (*slip*) perhatiannya dari lingkungan, maka LDW akan memberikan peringatan atau bahkan melakukan koreksi.

3) *Push Brake Indicator*

Beberapa jenis kendaraan untuk memastikan bahwa kendaraan tetap berhenti ketika dilakukan penyalaan (*cranking*) memberikan peringatan dalam bentuk indikator pada panel instrumen. Jika indikator ini menyala maka dapat dipastikan kendaraan tidak akan dapat dilakukan penyalaan.

Faktor manusia yang akan dituju dengan adanya indikator ini adalah lupa (*lapse*). Lupa yang dimaksud adalah lupa menekan pedal rem sebelum menyalakan kendaraan. Jika pedal rem ditekan maka kendaraan baru akan dapat dinyalakan.

Perekayasa yang dilakukan selain pada kendaraan juga dilakukan pada lingkungan seperti dengan mengatur lingkungan berkendara dengan memberikan rambu lalu lintas, marka jalan, lampu pengatur lalu lintas, pembatas jalan, penerangan jalan, dsb. Sebagai contoh, rambu lalu lintas sesuai jenisnya adalah sebagai peringatan, larangan, perintah, dan petunjuk. Kesemuanya dibuat untuk mengingatkan pengemudi agar tidak melakukan kesalahan, namun sayangnya masih ada yang merasa bahwa rambu merupakan halangan sehingga melakukan pelanggaran (*violation*).

1.6 Penutup

Faktor manusia merupakan faktor yang dominan dalam suatu kecelakaan, namun mempelajari faktor manusia dalam pengaruhnya terhadap kecelakaan bukan berarti mencari sosok yang akan menerima hukuman, namun lebih kepada meminimalisasi kesalahan yang kemungkinan akan dilakukan oleh manusia dalam interaksinya dengan berbagai hal yang terkait dengan keselamatan lalu lintas. Interaksi dengan teknologi yang ada pada kendaraan, interaksi dengan teknologi lalu lintas, interaksi dengan jalanan, termasuk interaksi dengan pengguna jalan lain.

Tindakan meminimalisasi ini dapat dilakukan dengan rekayasa (*engineering*). Rekayasa yang dilakukan adalah seperti menambahkan berbagai teknologi pada kendaraan yang mampu meminimalisasi risiko kecelakaan. Selain pada kendaraan, rekayasa terhadap lingkungan juga diperlukan seperti rekayasa terhadap rambu lalu lintas yang mudah terbaca dsb.

Rekayasa yang mengarah kepada keselamatan lalu lintas yang terbesar adalah rekayasa yang berpusat kepada manusia.

“Cegah dan Lindungi, bukan Gegabah dan Menyesali”

---Anonim---

DAFTAR PUSTAKA

- D. Shinar, *Traffic safety and human behavior*. Bingley: Emerald, 2008.
- “Human Performance Improvement Handbook, Volume 1”.
- A. Widdowson and D. Carr, *Human factors integration: implementation in the onshore and offshore industries*. Great Britain, Health and Safety Executive, 2002.
- K. Huffman, *Psychology in Action*, Eight. John Wiley & Sons, 2006.
- Nurchahyo Utomo, P. Wijaya, G. M. Mboi, R. Z. Syaaf, Djunadi, and Widura Imam Mustopo, *Human Factors Training Handbook*. Komite Nasional Keselamatan Transportasi, 2021.
- J. Reason, A. Manstead, S. Stradling, J. Baxter, and K. Campbell, “Errors and violations on the roads: a real distinction?,” *Ergonomics*, vol. 33, no. 10–11, pp. 1315–1332, Oct. 1990, doi: 10.1080/001401390008925335.
- ICAO Doc 9859 *Safety Management Manual*, 4th ed. International Civil Aviation Organization, 2018.
- Smith System Driver Improvement Institute, Inc., “Smith System Changing Habits Since 1952,” Arlington, 2003.
- Basic Rider Course*, 1st ed. Motorcycle Safety Foundation, 2014. [Online]. Available: www.msf-usa.org
- Leksmono Suryo Putranto, *Rekayasa Lalu Lintas*, 3rd ed. Indeks, 2016.
- Adrianto Sugiarto Wiyono, “Manusia dan Kendaraan,” presented at the Bulan K3 Balikpapan, Balikpapan, Mar. 30, 2022.

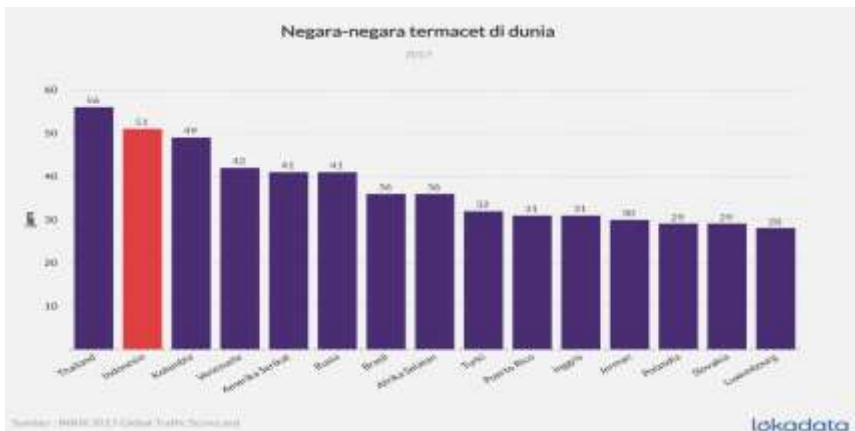
BAB 2

KARAKTERISTIK KENDARAAN

Oleh Fathan Mubina Dewadi

2.1 Pendahuluan

Kemacetan merupakan suasana ataupun kondisi tersendatnya ataupun apalagi terhentinya kemudian rute yang diakibatkan oleh banyaknya jumlah alat transportasi melampaui kapasitas jalur. Kemacetan banyak terjalin di kota-kota besar, terutamanya yang tidak memiliki pemindahan khalayak ataupun system kemudian rute yang tidak bagus ataupun mencukupi atau pula tidak seimbangnya keinginan jalur dengan kepadatan masyarakat, misalnya Jakarta (Wikipedia, 2021). Berikut akan dijelaskan mengenai negara dengan urutan termacet di dunia pada gambar 2.1.



Gambar 2.1. Urutan Negara Termacet di Dunia (lokadata, 2017)

2.2 Kemacetan

Kemacetan kemudian rute jadi kasus tiap hari ditemui di Pasar, Sekolah, Halte bis, stasiun (semacam peristiwa angkot ngetem asal- asalan, kebakaran di pemukiman, serta lain- lain), Lampu merah serta Belokan jalur raya ataupun jalan kereta api sepur api di ataupun perlintasan jalan kereta api sepur api yang nyaris tiap jalur 4 hingga 5 kali. Kesimpulannya terjalin penimbunan alat transportasi di perlintasan penyeberangan jalur jalan kereta api sepur api semacam di Jakarta, Surabaya, Bandung, Area, Semarang, Makassar, Palembang, Denpasar, Yogyakarta, Kota Bekasi, serta kota- kota besar yang lain di Indonesia (Nanda, et al., 2022). Berikut akan ditampilkan provinsi dengan kendaraan bermotor terbanyak pada tabel 2.1.

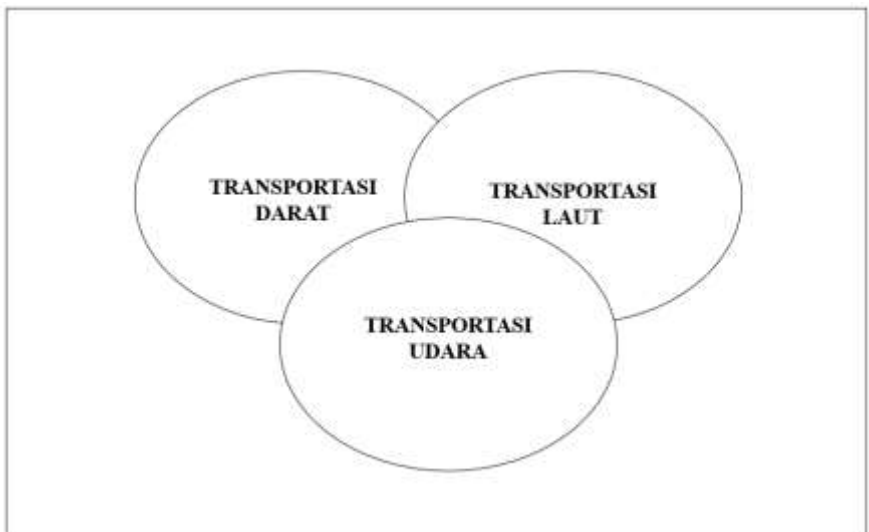
Tabel 2.1. Provinsi di Indonesia dengan Kendaraan Bermotor Terbanyak (Dihni, 2022)

No	Nama	Nilai / Unit
1	Jawa Timur	23.258.683
2	Metro Jaya	21.797.161
3	Jawa Tengah	19.169.120
4	Jawa Barat	17.621.415
5	Sumatera Utara	7.191.168
6	Sulawesi Selatan	4.632.764
7	Bali	4.572.214
8	Riau	4.037.838
9	Sumatera Selatan	3.887.204
10	Lampung	3.838.163

Kemacetan kemudian rute membagikan akibat minus yang besar yang antara lain Kehilangan durasi, sebab kecekatan ekspedisi yang kecil. tidak hanya itu pula Inefisiensi tenaga, sebab pada kecekatan kecil mengkonsumsi materi bakar lebih besar (Wibowo & Dewadi, 2022).

2.3 Jenis-Jenis Transportasi

Kearifan alat transportasi lebih besar, sebab durasi yang lebih lama buat jarak yang pendek, radiator tidak berperan dengan bagus serta pemakaian rem yang lebih besar (Raja Ma'arof, *et al.*, 2021). Di Indonesia, kendaraan terbagi menjadi 3 jenis sesuai bidang area transportasi yaitu darat, air dan udara. Berikut akan dijelaskan mengenai jenis-jenis transportasi sesuai medan pada gambar 2.2.

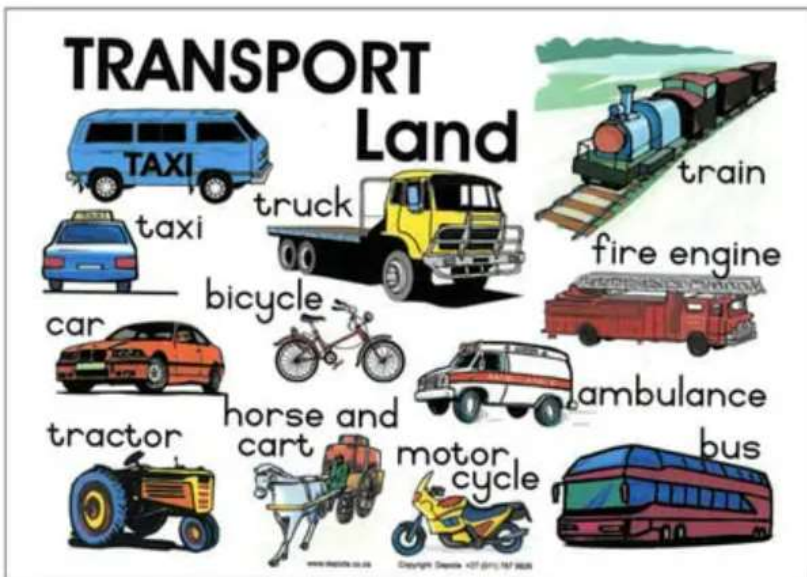


Gambar 2.2. Jenis-Jenis Transportasi

Tingkatkan pencemaran hawa sebab pada kecekatan kecil mengkonsumsi tenaga lebih besar, serta mesin tidak bekerja pada

situasi yang maksimal. Tingkatkan tekanan pikiran konsumen jalur (Supriyono, *et al.*, 2022).

Kemacetan bisa terjalin sebab sebagian alibi ialah Arus yang melampaui jalur sudah melewati kapasitas jalur, terjalin kecelakaan terjalin kendala kelancaran sebab warga yang menyaksikan peristiwa kecelakaan ataupun sebab kendaraan yang ikut serta kecelakaan belum disingkirkan dari rute kemudian rute, terjalin banjir alhasil alat transportasi melambatkan alat transportasi (Sitorus , *et al.*, 2022). Berikut akan dijelaskan pada gambar 2.3 mengenai macam-macam transportasi darat secara umum.



Gambar 2.3. Macam-Macam Transportasi Darat (jagad.id, 2023)

Terdapatnya alat transportasi keluar-masuk serta Terdapatnya pembangunan prasarana. Terdapat sebagian tahap yang dapat dicoba buat membongkar kasus kemacetan kemudian rute yang wajib diformulasikan dalam sesuatu konsep yang menyeluruh yang umumnya mencakup langkah- langkah ialah

kenaikan kapasitas, keberpihakan pada angkutan biasa, serta pemisahan alat transportasi individu (Dewadi, 2021).

Salah satu tahap yang berarti dalam membongkar kemacetan merupakan dengan tingkatan kapasitas jalur atau parasarana semacam memperlebar jalur, menaikkan deret kemudian rute selama perihal itu membolehkan, mengganti perputaran kemudian rute jadi jalur satu arah, kurangi bentrokan di belokan lewat pemisahan arus khusus, umumnya yang sangat berkuasa menghalangi arus kelok kanan (Dewadi, 2021).

Tingkatkan kapasitas belokan lewat lampu kemudian rute, belokan tidak sebidang atau *flyover*, meningkatkan inteligensi dalam sistem transportasi. Membagikan ganjaran bila terdapat yang melanggar. Buat tingkatan energi bawa jaringan jalur dengan merupakan memaksimalkan pada angkutan yang berdaya guna (Dewadi & Dewadi, 2022). Berikut ini akan dijelaskan mengenai macam-macam transportasi air pada gambar 2.4.



Gambar 2.4. Macam-Macam Transportasi Air (Kerajinan 5-Menit, 2021)

Dalam pemakaian ruang jalur antara lain Pengembangan jaringan jasa angkutan biasa, Pengembangan deret ataupun rute spesial bis atau jalur spesial bis yang di Jakarta diketahui selaku Busway, Pengembangan sepur api kota, yang diketahui selaku metro di Prancis, Subway di Amerika, MRT di Singapore, Bantuan langsung semacam yang diaplikasikan pada angkutan kota di Transjakarta, Batam atau Jogjakarta ataupun tidak langsung lewat kelapangan pajak alat transportasi bermotor, serta banderol masuk pada angkutan biasa (Nanda, *et al.*, 2022).

Tahap ini umumnya tidak terkenal namun apabila kemacetan terus menjadi akut wajib dicoba manajemen kemudian rute yang lebih berlebihan selaku selanjutnya Pemisahan

pemakaian alat transportasi individu mengarah sesuatu area khusus semacam yang direncanakan hendak diaplikasikan di Jakarta lewat *Electronic Road Pricing* (ERP) (Nanda, *et al.*, 2022). Berikut akan dijelaskan mengenai macam-macam transportasi udara pada gambar 2.5.



Gambar 2.5. Macam-Macam Transportasi Udara (Alzedustore, 2023)

ERP sukses dengan amat berhasil di Singapura, London, serta Stockholm. Wujud lain dengan aplikasi kebijaksanaan parkir yang bisa dicoba dengan aplikasi bayaran parkir yang besar di area yang hendak dibatasi kemudian lintasnya, atau pemisahan penyediaan ruang parkir di area yang hendak dibatasi kemudian lintasnya, Pemisahan pemilikan alat transportasi individu lewat kenaikan bayaran pemilikan alat transportasi, pajak materi bakar, pajak alat transportasi bermotor, banderol masuk yang besar (Nanda, *et al.*, 2022).

Pemisahan kemudian rute khusus merambah area ataupun jalur khusus, semacam diaplikasikan di Jakarta yang diketahui selaku area 3 in 1 ataupun ilustrasi lain pemisahan sepeda motor masuk jalur tol, pemisahan mobil individu masuk rute busway. (Dewadi, *et al.*, 2021).

2.4 Soal-Soal Latihan

1. Bagaimana kriteria kendaraan yang baik dalam perlintasan jalan raya di Indonesia (Della, et al., 2022)?
2. Bagaimana sistem lalu lintas yang baik demi menetralsir kemacetan yang menumpuk di tiap titik lalu lintas (Dewadi, 2016)?
3. Seberapa penting peran rambu-rambu lalu lintas dalam transportasi di ibu kota (Dewadi, 2021)?
4. Apakah peran relawan yang membantu menertibkan lalu lintas sangat berpengaruh (Dewadi, 2022)?
5. Bagaimana jika kendaraan-kendaraan pribadi lebih dibatasi dalam hal penggunaan dan keleluasaan (Mulyadi & Dewadi, 2021)?

DAFTAR PUSTAKA

- Farahdiansari, A. P., Dewadi, F. M. & Rahdiana, N., 2021. Analisis Unjuk Kerja BBM dengan Eco-Racing sebagai Campuran BBM yang Ekonomis. *JTMMX*, II(1), pp. 1-5.
- Wibowo, C., Sukarno, S., Nursanti, Y. B. & Dewadi, F. M., 2022. Kebutuhan Perguruan Tinggi di Wonogiri sebagai Bagian dari Pengembangan Sumber Daya Manusia. *VISIONER : Jurnal Penelitian Komunikasi dan Sosial Politik* , IV(1), pp. 20-27.
- Abbas, A. et al., 2020. *Implementation of clustering unsupervised learning using KMeans mapping techniques*. Medan, IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering.
- A. & Dewadi, F. M., 2022. Perancangan Mesin Roll Plat Listrik sebagai Peningkatan Efisiensi Kerja di Industri Manufaktur. *Jurnal Mekanika Terapan*, III(1), pp. 18-25.
- A, F. M. et al., 2022. Optimization of Vapor Compression Type for Desalination of Seawater Using the DFMA Method. *Jurnal Teknik Mesin Mechanical Xplore (JTMMX)*, III(1), pp. 1-8.
- A. et al., 2021. Analisis Rancangan Sel Surya untuk Kebutuhan Cadangan Energi Listrik di Kolam Wilayah Graha Raya Bintaro, Tangerang Selatan. *JTMMX*, II(1), pp. 6-12.
- Alzedustore, 2023. *shopee*. [Online] Available at: <https://shopee.co.id/Poster-Edukasi-Anak-Seri-Transportasi-Udara-i.52126127.6331702881> [Accessed 12 Maret 2023].
- Della, R. H. et al., 2022. *Kesehatan & Keselamatan Kerja Era Society 5.0*. 1st ed. Purbalingga: Eureka Media Aksara.

- Dewadi, F. M., 2016. *Perancangan Mesin Roll Pelat Dengan Penggerak Motor Listrik Ac 1 Fasa Kapasitas Daya Listrik 180 W*, Jakarta: Institut Sains dan Teknologi Al-Kamal.
- Dewadi, F. M., 2021. Analisis Efektivitas Liquid Section Heat Exchanger dengan Tube in Tube Heat Exchanger dari Sisi Aplikatif. *JTMMX*, II(1), pp. 28-36.
- Dewadi, F. M., 2021. Efisiensi Pada Sepeda Listrik Dengan Dinamo Sepeda Sebagai Generator. *Praxis : Jurnal Sains, Teknologi, Masyarakat dan Jejaring*, IV(1), pp. 13-23.
- Dewadi, F. M., 2021. Pembelajaran dan Pengenalan Musik dalam Melatih Daya Ingat Anak. *JECED: Journal of Early Childhood Education and Development*, III(1), pp. 15-23.
- Dewadi, F. M., 2021. *Pengaruh Analisis Manajemen Stres Kinerja Perusahaan terhadap Pencapaian Kinerja Karyawan Optimal berdasarkan Pengalaman Pemuda Kreatif Kavling Rawa Bunga, Tangerang Selatan*. Bukit Tinggi, IAIN Bukit Tinggi.
- Dewadi, F. M., 2022. Klasifikasi Perpindahan Panas. In: R. Pido, ed. *Perpindahan Panas: Dasar dan Praktisi dari Perspektif Akademisi dan Praktisi*. Bandung: Indie Press, pp. 1-8.
- Dewadi, F. M., Dahlan, D. & Maulana, E., 2019. Frame e-Bike Optimization Capacity 48V. *JOJAPS*, Volume XIV, pp. 129-138.
- Dihni, V. A., 2022. *databooks*. [Online] Available at: <https://databoks.katadata.co.id/datapublish/2022/01/17/jumlah-kendaraan-bermotor-jawa-timur-terbanyak-se-indonesia> [Accessed 11 Maret 2023].
- Dimiyati, D. et al., 2021. Evaluasi Kekuatan Resistance Spot Welding Pada Proses Tailor Welded Blankss Menggunakan

- Mill-Steel Beda Ketebalan. *Borobudur Engineering Research (BENR)*, I(1), pp. 96-107.
- jagad.id, 2023. *jagad.id*. [Online] Available at: <https://jagad.id/transportasi-darat-pengertian-contoh-kelebihan-dan-kekurangan/>[Accessed 12 Maret 2023].
- Jati, R. R., Sofiyanti, B. & Dewadi, F. M., 2022. Pengenalan Material Yang Digunakan Dalam Proses Pengelasan Berdasarkan Spesifikasi Material. *Empowerment: Jurnal Pengabdian Masyarakat*, I(3), pp. 300-305.
- Kerajinan 5-Menit, 2021. *facebook*. [Online] Available at: <https://www.facebook.com/546460062546004/photos/pb.546460062546004.2207520000../1201149653743705/?type=3&eid=ARBohdU3manoY88lZHZZiBFrlmgny7K1kW2uvQQbLp0A8AgAT4DiBEUCmbb9SoVczEGOfhmUye8DT>[Accessed 12 Maret 2023].
- K., Nanda, R. A., A. & Dewadi, F. M., 2022. Pelatihan Pemanfaatan Aquaponik Bagi Warga Kavling Rawa Bunga, Tangerang Selatan. *Journal of Entrepreneurship and Community Innovations*, I(1), pp. 16-21.
- K., Nanda, R. A. & Dewadi, F. M., 2022. Pengukuran Intensitas Cahaya Menggunakan Sensor BH-1750 Berbasis Mikrokontroler: Studi Kawasan Kampus UBP Karawang. *Praxis*, V(1), pp. 74-81.
- K. et al., 2022. Archimedes' Principle Applied to Buoy Design for Measuring Purposes in Offshore Illumination Conditions. *JTMMX*, III(1), pp. 40-48.
- K. et al., 2021. A Report on Metal Forming Technology Transfer from Expert to Industry for Improving Production Efficiency. *Mechanical Engineering for Society and Industry*, I(2), pp. 96-103.
- lokadata, 2017. *lokadata*. [Online] Available at: <https://lokadata.beritagar.id/chart/preview/negara->

negara-termacet-di-dunia-1519789072 [Accessed 11 Maret 2023].

- M., Dewadi, F. M., A. & Sigalingging, W. S., 2021. Pengaruh Parameter Temperatur Quenching terhadap Sifat Mekanik dan Struktur Mikro Rear Hub Spindles. *Buana Ilmu*, V(2), pp. 101-118.
- M., 2020. *Analisis Unjuk Kerja Eco Racing sebagai Suplemen Penghemat Bahan Bakar*. Malang, Universitas Widyagama Malang.
- Mulyadi, D. & Dewadi, F. M., 2021. Analisis Rancangan Sel Surya untuk Kebutuhan Cadangan Energi Listrik di Kolam Wilayah Graha Raya Bintaro, Tangerang Selatan. *Jurnal Teknik Mesin Mechanical Xplore*, II(1), pp. 6-12.
- Nanda, R. A. et al., 2022. Perancangan dan Perakitan Elektronika Mikrokontroler berbasis IOT untuk Studi Pengukuran Sistem HVAC. *JTMMX*, VII(1), pp. 43-55.
- Raja Ma'arof, R. A., Saputra, O. . A., Dewadi, F. M. & Noor, A., 2021. *Engaging Students: Blending Class Activities with Industry-linked Teaching Approach in Occupational Safety and Health Course Delivery*, Kuala Lumpur: Universiti Kuala Lumpur.
- S. et al., 2021. Pengaruh Penahanan Suhu Reaktor pada Pengujian LDPE dengan Debit Air 46 L/Min. *JTMMX*, II(1), pp. 19-27.
- Sitorus , E. et al., 2022. *Kesehatan dan Keselamatan Kerja Era Sociey 5.0*. Indonesia, Patent No. 000338122.
- Supriyono, T. et al., 2022. Analisis Chassis Mobil Robot Penanaman Bibit Kangkung Menggunakan Metode Elemen Hingga. *JTMMX*, II(2), pp. 1-8.
- Surbakti, D., Wibowo, C. & Dewadi, F. M., 2022. Perbaikan Gerobak Sampah sebagai Bagian dari Manajemen Sampah Sisi Hulu di Lingkungan Permata Penggilingan Jakarta. *Indonesian*

- Journal of Engagement, Community Services, Empowerment and Development*, II(2), pp. 165-174.
- Wibowo, C. & Dewadi, F. M., 2022. Design Pressure Reduction System (PRS) untuk Compressed Natural Gas (CNG) Kapasitas 30 Nm³/h dalam Sisi Teknis dan Ekonomis. *TEKINFO: Jurnal Penelitian Teknik dan Informatika*, II(2), pp. 60-65.
- Wibowo, C., Dewadi, F. M. & Afgani, A. A., 2021. Impementasi Material Titanium pada Sepeda Listrik sebagai Rangka yang Efisien. *JTMMX*, II(1), pp. 13-18.
- Wikipedia, 2021. *Wikimedia Project*. [Online] Available at: <https://id.wikipedia.org/wiki/Kemacetan> [Accessed 11 Maret 2023].

BAB 3

TEKNIK DALAM SURVEY LALU LINTAS

Oleh Rhapsyalyani Herno Della

3.1 Survey Lalu Lintas

Definisi survei lalu lintas berarti untuk menangkap data yang secara akurat mencerminkan situasi lalu lintas dunia nyata di area tersebut. Misalnya menghitung jumlah kendaraan yang menggunakan jalan atau mengumpulkan informasi waktu perjalanan, tetapi ada banyak jenis data lain yang dikumpulkan oleh survei lalu lintas.

Pentingnya survei lalu lintas muncul ketika datang ke perencanaan transportasi, persyaratan dasar yang penting adalah memperoleh pemahaman yang baik tentang kondisi aktual di lapangan untuk memprediksi kondisi apa yang akan terjadi di masa depan. Seringkali, satu-satunya cara untuk mencapai hal ini adalah dengan mendapatkan ukuran lalu lintas (kendaraan/pejalan kaki) yang akurat. Ini sering diperluas untuk merangkum jenis dan kecepatan kendaraan. Jika tujuannya membutuhkan data yang lebih rinci, maka panjang perjalanan, tujuan perjalanan dan frekuensi perjalanan mungkin juga perlu ditentukan.

Tujuan survei lalu lintas termasuk membantu menyelesaikan masalah lalu lintas nasional, regional dan lokal. Secara khusus, data yang dikumpulkan memainkan peran utama dalam menginformasikan proses pengambilan keputusan dalam perencanaan transportasi. Ini mungkin termasuk berkontribusi pada proyek-proyek yang berkaitan dengan perencanaan, konstruksi dan pemeliharaan infrastruktur transportasi. Yang

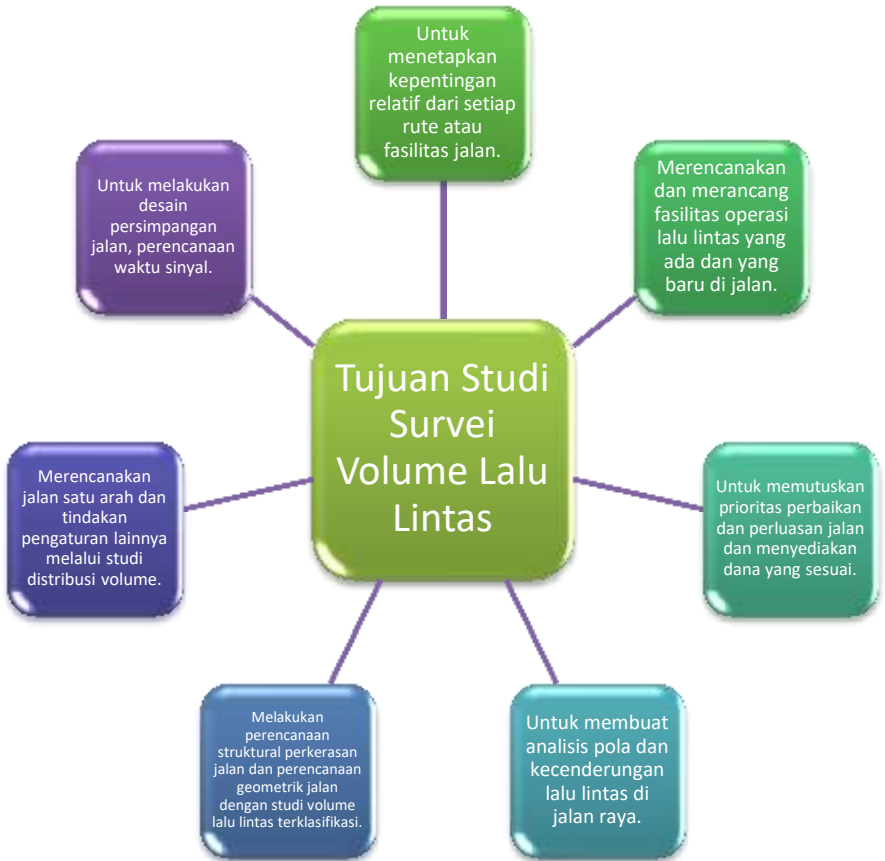
penting, dengan investasi besar yang tampaknya terbatas, laporan survei lalu lintas memengaruhi investasi dalam infrastruktur masa depan serta memanfaatkan jaringan jalan kita saat ini dengan sebaik-baiknya. Pada tingkat lokal, survei juga digunakan untuk proyek-proyek yang lebih kecil untuk menghasilkan laporan studi volume lalu lintas dan laporan studi dampak lalu lintas yang menangani masalah parkir atau keefektifan langkah-langkah pengendalian lalu lintas sehubungan dengan masalah keselamatan jalan.

Survei lalu lintas bertujuan untuk menangkap data yang secara akurat mencerminkan situasi lalu lintas dunia nyata di area tersebut. Misalnya menghitung jumlah kendaraan yang menggunakan jalan atau mengumpulkan informasi waktu perjalanan, tetapi ada banyak jenis data lain yang dikumpulkan oleh survei lalu lintas.

Data volume lalu lintas, jumlah petugas lalu lintas yang melewati ruas jalan tertentu selama periode tertentu, merupakan informasi penting yang menunjukkan pentingnya jalan tersebut. Data ini, serta data lain tentang tata guna lahan dan perilaku transportasi, diperoleh secara terus-menerus secara berkala. Data ini sangat penting untuk memenuhi permintaan model transportasi, yaitu untuk:

1. Penyajian data interaktif untuk analisis trafik eksisting
2. Mencari tahu lokasi dan waktu jalan yang bermasalah
3. Pemodelan perubahan kecil dalam jaringan transportasi kota seperti penutupan, ruas baru, perubahan kapasitas, dll.

Berdasarkan Bronzini (2004), pengambilan data dalam survey lalu lintas menjadi sangat penting dikarenakan untuk mencapai beberapa faktor seperti yang tergambar pada gambar 4.1 berikut ini:



Gambar 3.1. Tujuan Studi Survei Volume Lalu Lintas (Bronzini, 2004)

3.2 Tipe-tipe Survey Lalu Lintas

Peraturan dan pelaksanaan survey lalu lintas dalam perencanaan jalan raya di Indonesia diatur sesuai dengan peraturan Kementerian Pekerjaan Umum yang tercantum dalam Manual Kapasitas Jalan Indonesia atau biasa disingkat MKJI (Direktorat Jenderal Bina Marga, 1997). Sampai saat ini

pembaharuan peraturan itu masih digodok oleh Direktorat Jenderal Bina Marga Kementerian Pekerjaan Umum. Peraturan ini sendiri mengacu kepada peraturan internasional yang tertera pada *Highway Capacity Manual* (Transportation Research Board, 2010). Berdasarkan MKJI 1997, terdapat beberapa survey yang biasanya digunakan untuk perencanaan dan perancangan jalan di Indonesia, diantaranya adalah:

1. Survei Geometrik dan Kondisi Umum Persimpangan

Teknik pengambilan data ini merupakan survey umum yang wajib dilakukan dalam pelaksanaan perencanaan dan perancangan suatu jalan atau persimpangan. Teknik pengambilan data dilakukan dengan mengambil data geometrik bahkan situasi dan kondisi daerah yang menjadi perencanaan jalan atau persimpangan. Keseluruhan data fisik diambil sehingga perencana memiliki *basic data* untuk tindakan selanjutnya.

2. Survei Tundaan

Survei penundaan pada persimpangan digunakan untuk mengevaluasi performa di setiap penundaan pada simpang. Dimana penundaan tersebut menunjukkan lalu lintas kendaraan yang masuk dan keluar simpang atau pun masuk dan pindah ke jalur lainnya. Survei memberikan evaluasi dengan akurat dan secara detail dari waktu stop dan waktu penundaan pada setiap persimpangan. Survei ini juga bisa diaplikasikan dalam evaluasi tundaan pada pejalan kaki pada persimpangan dengan mengantriakan perhitungan pejalan kaki menjadi perhitungan kendaraan. Manfaat dalam survei ini diperlukan dalam setiap perencanaan persimpangan supaya diperhatikan dampak lainnya dan meminimalisir antrian yg terjadi. Tujuan dari survei tundaan adalah untuk melakukan perbaikan simpang, kecelakaan akibat konvergensi berbagai pergerakan kendaraan berasal dari berbagai penjuruk arah

menuju pada arah yang sama yakni bagian tengah persimpangan. Selain itu juga survei tundaan dilakukan untuk mengurangi peningkatan kapasitas pada daerah persimpangan dengan melihat dan menganalisa konflik yang terjadi pada persimpangan tersebut. Dengan berkurangnya kapasitas persimpangan maka nilai tundaan pada persimpangan tersebut juga akan mengecil dan tentunya hal ini akan berpengaruh kepada kelancaran lalu lintas pada persimpangan tersebut.

3. Survei Volume Lalu Lintas

Survey ini merupakan teknik pengambilan data yang digunakan untuk menentukan terutama volume lalu lintas yang bergerak di jalan pada bagian tertentu selama waktu tertentu. Survei lalu lintas sangat penting untuk dilakukan karena bisa digunakan untuk:

- Meningkatkan efisiensi dan umur jalan
- Mengurangi volume lalu lintas pada bagian tertentu
- Menyediakan sarana yang lebih baik untuk pembangunan infrastruktur
- Menyediakan sarana yang lebih baik untuk memanfaatkan jalan lain jika terjadi acara khusus di kota
- Memberikan perkiraan tidak ada kendaraan terhadap tidak ada orang

4. Survei Kecepatan

Survei kecepatan adalah alat yang kami gunakan untuk menentukan batas kecepatan yang seharusnya untuk bagian jalan tertentu. Batas kecepatan memberikan pemberitahuan kepada pengemudi tentang batas kecepatan maksimum di jalan raya dan merupakan alat penegakan hukum untuk membantu polisi dalam memisahkan pelanggar dari mayoritas yang masuk akal. Jalan biasanya dibagi menjadi beberapa bagian yang

memiliki atribut fisik yang serupa. Perlu diketahui bahwa tidak semua jalan raya wajib dilakukan survei kecepatan untuk menentukan batas kecepatan.

5. Survei Headway

Headways mungkin yang paling penting dari semua variabel lalu lintas karena sejumlah besar penelitian lalu lintas dan latihan simulasi menggunakan model headway dalam analisis permasalahan lalu lintas (Tayror, Younc dan Thonlpson, 1989). Survei analisa headway bertujuan untuk mengetahui kecepatan, kerapatan dan kapasitas kendaraan pada arus jalan yang tidak terganggu dan untuk mengetahui selisih waktu antara kendaraan yang melewati jalan tersebut (Herno Della dan Arliansyah, 2021).

6. Survei Waktu Perjalanan

Survei Waktu Perjalanan melibatkan pengukuran waktu kendaraan sehubungan dengan jarak tempuhnya. Pengumpulan data yang akurat untuk survei waktu tempuh dapat dicapai melalui berbagai metode, tetapi penting untuk mencocokkan alat yang paling tepat untuk mendapatkan data yang akurat. Survei waktu perjalanan memiliki tujuan sebagai berikut (Herno Della dan Arliansyah, 2021):

- Mengetahui travel time (waktu perjalanan) pada ruas yang ditinjau.
- Untuk mengetahui seberapa mudah aksesibilitas pada suatu ruas jalan yang ditinjau.
- Untuk mengetahui mobilitas pada ruas jalan yang ditinjau.
- Untuk mengetahui volume kendaraan pada jalan yang ditinjau.

3.3 Metode Pelaksanaan Survey Lalu Lintas

Data lalu lintas termasuk kecepatan kendaraan, volume dan klasifikasi yang diperlukan untuk desain perkerasan, peramalan permintaan transportasi, penerapan sistem transportasi cerdas dan pengembangan fasilitas dan infrastruktur lalu lintas biasanya berasal dari sensor di dalam, di atas atau di atas jalan merupakan teknologi penginderaan kendaraan yang digunakan dalam pemantauan lalu lintas (Yu dan Prevedouros, 2013).

Mekanisme pengumpulan data lalu lintas non manual dapat dikategorikan menjadi dua metode, biasanya dikenal sebagai metode *Intrusive* dan *Non-intrusive* (Wang dkk., 2020). Data lalu lintas diukur dengan menggunakan detektor yang terletak di sepanjang jalan yang melacak bagaimana kecepatan perjalanan di segmen jalan berubah seiring waktu, yang pada gilirannya memengaruhi keseluruhan arus kendaraan di jalan.

3.3.1 Metode *Intrusive*

Metode *Intrusive* melibatkan penempatan sensor dan perekam data di jalan. Peralatan yang digunakan dalam metode ini biasanya dapat mencakup tabung jalan Pneumatik, lingkaran Induksi atau magnet, dan sensor piezoelektrik.

1. Tabung Jalan Pneumatik

Ini adalah tabung karet yang ditempatkan di jalur jalan untuk mendeteksi kendaraan saat ban kendaraan bergerak di atas tabung. Denyut nadi dihasilkan, direkam, dan diproses oleh penghitung yang terletak di pinggir jalan. Tabung pneumatik memiliki cakupan jalur terbatas dan cocok untuk cuaca, suhu, dan kondisi lalu lintas yang ideal.

2. Loop Induksi atau Magnetik

Loop dipasang di jalan raya dan menghasilkan medan magnet. Ini bekerja dengan mengirimkan informasi pada perangkat penghitung yang ditempatkan di pinggir jalan. Harapan hidup loop induksi pendek karena dapat dengan mudah dihancurkan oleh kendaraan berat. Selain itu, biaya

implementasi dan pemeliharaan bisa mahal.

3. Sensor piezoelektrik

Ini adalah gadget yang mengukur perubahan tekanan dan akselerasi dengan menggunakan efek piezoelektrik untuk mengubah pengukuran menjadi satuan muatan listrik. Itu ditempatkan di alur di sepanjang permukaan jalan dari jalur yang dipantau. Tujuannya untuk mengubah energi mekanik menjadi energi listrik. Unit sensor piezoelektrik dapat digunakan untuk mengukur berat dan kecepatan. Unit sensor ini tersedia dalam dua kategori: mekanik dan elektrik.

3.3.2 Metode *Non-Intrusive*

Metode *non-intrusive* merupakan metode pengumpulan data lalu lintas yang tidak mengganggu melibatkan pengamatan jarak jauh. Ini terdiri dari komponen faktorial berikut dalam pengumpulan data lalu lintas: penghitungan manual, pasif, dan inframerah aktif, magnetik pasif, radar gelombang mikro, ultrasonik dan akustik pasif, dan deteksi gambar video. Komponen faktorial ini adalah:

1. Hitungan Manual

Di sinilah pengamat terlatih mengumpulkan data lalu lintas yang tidak dapat dikumpulkan melalui penghitungan otomatis, misalnya klasifikasi kendaraan dan pejalan kaki. Bahan yang umum digunakan adalah tally sheet dan papan hitung mekanik.

2. Infra Merah Pasif dan Aktif

Mekanisme pengumpulan data lalu lintas ini menggunakan energi infra merah di sekitar area deteksi untuk mendaftarkan keberadaan kecepatan dan jenis mobil yang lewat. Kekurangannya termasuk fakta bahwa ia tidak dapat bekerja dalam cuaca buruk dan memiliki cakupan jalur yang terbatas.

3. Magnetik Pasif

Sensor magnetik ditempatkan di bawah atau di atas landasan jalan memungkinkan untuk menghitung jumlah kendaraan, kecepatan, dan jenis kendaraan. Kelemahan dalam mekanisme pengukuran adalah bahwa sensor terkadang tidak dapat membedakan kendaraan yang jaraknya berdekatan.

4. Pembaca gelombang mikro

Ini dapat mendeteksi kendaraan yang sedang transit dan kecepatannya. Keunggulan microwave reader adalah dapat digunakan dalam berbagai kondisi cuaca.

5. Deteksi Gambar Video

Sebuah kamera video diposisikan untuk merekam jumlah nomor kendaraan, jenis, dan kecepatan menggunakan berbagai teknologi terintegrasi.

Saat ini, teknologi *intrusive* tradisional lebih banyak diterapkan dalam pengumpulan data lalu lintas daripada teknologi *non-intrusive* sebagian karena inersia kelembagaan dan pengetahuan (Yu dan Prevedouros, 2013). Namun, teknologi *non-intrusive* yang lebih baru berkembang pesat dan sensor non-intrusif menjadi lebih andal dan lebih mudah untuk disebar dan digunakan. Dibandingkan dengan sensor *intrusive*, keunggulan sensor *non-intrusive* adalah meminimalkan gangguan arus lalu lintas dan mengurangi risiko keselamatan. Selain itu, di jembatan dan terowongan di mana pemotongan dan pemboran perkerasan tidak diinginkan, sensor *non-intrusive* memberikan alternatif yang sesuai.

3.4 Kualitas Hasil Survey Lalu Lintas

3.4.1 Implikasi Pengumpulan Data Yang Buruk

Setiap metode memiliki keterbatasan sehingga dalam analisa setelah survey lalu lintas sangatlah diperlukan. Semua

keterbatasan metode yang dijelaskan di atas menyebabkan analisis atau analisis yang dilakukan sangat tidak disarankan jika berdasarkan sampel kecil atau data usang. Oleh karena itu, kemampuan organisasi untuk merespons kebutuhan dibatasi oleh teknik pengumpulan dan evaluasi data yang ada, serta memperbaharui data wajiblah dilakukan. Jika data tidak ada, ada opsi untuk memperkirakan volume lalu lintas di seluruh jaringan jalan dengan menggunakan model matematis. Tapi apakah itu akurat? Nilai gap keakuratan pastilah akan selalu ada.

Untuk itulah pemilihan metode yang akan digunakan dalam survey lalu lintas dan jumlah sampel atau responden yang didapatkan akan sangat mempengaruhi apakah data yang diambil baik atau buruk bagi perencanaan lalu lintas.

3.4.2 Memilih Metode Yang Tepat Untuk Pengumpulan Lalu Lintas

Dalam mencegah terjadinya pengambilan data lalu lintas yang buruk seperti yang diuraikan diatas, maka diperlukan beberapa faktor yang menjadi pertimbangan agar data tersebut layak digunakan. Faktor-faktor berikut harus dipertimbangkan ketika memilih metode dan melakukan survei lalu lintas. Faktor-faktor tersebut berdasarkan (Leduc, 2008) diantaranya adalah:

- Akurasi - faktor ini sangat mempengaruhi kualitas data. Dalam metode manual, rentang perhatian penghitung berkurang dengan panjangnya survei, dan dengan demikian tingkat kesalahan meningkat. Metode teknis berbasis sensor tidak tunduk pada pengaruh ini. Untuk perangkat teknis, tingkat kesalahan tertentu yang dapat diterima adalah konstan.
- Biaya - Dalam hal survei ekstensif di beberapa lokasi pada satu waktu, perlu mempertimbangkan kesulitan keuangan untuk membeli perangkat teknis yang bermanfaat hanya jika mengulangi survei semacam itu. Namun, dalam kasus

one-time survei, secara finansial tidak menguntungkan untuk membeli dan menggunakan semua peralatan yang diperlukan. Oleh karena itu, sebagian besar solusi analitik video baru untuk analisis lalu lintas didistribusikan dalam bentuk solusi online.

- Tujuan survei - Dengan sebagian besar metode tradisional, penting untuk menentukan di muka data apa yang perlu kita ukur dan untuk apa data itu akan digunakan. Penghitung manual tidak dapat menangkap pola lalu lintas yang rumit atau data tingkat lanjut seperti waktu perjalanan. Mereka juga gagal mensurvei langkah kaki pejalan kaki atau lalu lintas sepeda, hanya karena terlalu rumit. Sensor teknis tradisional mampu menangkap pola lalu lintas yang lebih rumit, namun seringkali beberapa sensor diperlukan untuk menangkap berbagai jenis petugas lalu lintas sekaligus.

Penggunaan teknologi dalam survey lalu lintas sangatlah diperlukan saat ini, dikarenakan untuk mempermudah pengambilan data dan juga mengurangi kesalahan akibat *human error*. Saat ini *artificial intelligence* dalam survey lalu lintas merupakan salah satu solusi untuk menghindari adanya data survey lalu lintas yang buruk.

3.5 Artificial Intelligence Dalam Survey Lalu Lintas

Berdasarkan uraian di atas, dapat disimpulkan bahwa paling menguntungkan untuk menggunakan sistem berbasis kecerdasan buatan atau *artificial intelligence* (AI) yang menggabungkan peralatan kamera yang ada, kemampuan penghitungan multi-moda, pemantauan pola lalu lintas yang kompleks, dan akurasi tinggi yang konstan (Wang *dkk.*, 2020).

Kebutuhan akan data yang kuat tentang infrastruktur transportasi di kota sangat penting untuk lebih memahami

kebutuhan kinerja dan peningkatan serta mendukung keputusan investasi yang terinformasi dan efektif. Dengan kemajuan dalam kecerdasan buatan dan kapasitas komputasi, terdapat peluang yang signifikan untuk memahami kinerja infrastruktur dalam waktu singkat dan untuk menjawab pertanyaan apa pun tentang masalah transportasi dengan lebih detail daripada sebelumnya, dengan kecepatan yang jauh lebih cepat, dan dengan biaya yang lebih murah dan cara yang efektif (Stofan, 2023). Teknologi ini memungkinkan para insinyur lalu lintas melakukan hal-hal dengan cara yang sama seperti perusahaan teknologi tinggi.

DAFTAR PUSTAKA

- Bronzini, M.S. 2004. *Handbook of Transportation Engineering*. McGraw-Hill. Tersedia pada: <https://doi.org/10.1016/j.trd.2019.11.009>[Ahttps://www.cincinnati-oh.gov/dote/%0Ahttp://dx.doi.org/10.1016/j.jth.2016.01.008%0Awww.pptm.depkes.go.id%0Ahttps://go.itdp.org/display/live/The+Bike+Share+Planning+Guide%0Ahttp://dx.doi.org/10.1016/j.tranpol.20](https://www.cincinnati-oh.gov/dote/%0Ahttp://dx.doi.org/10.1016/j.jth.2016.01.008%0Awww.pptm.depkes.go.id%0Ahttps://go.itdp.org/display/live/The+Bike+Share+Planning+Guide%0Ahttp://dx.doi.org/10.1016/j.tranpol.20).
- Direktorat Jenderal Bina Marga. 1997. *Manual Kapasitas Jalan Indonesia (MKJI) 1997, Manual Kapasitas Jalan Indonesia (MKJI)*. Direktorat Jenderal Bina Marga Indonesia.
- Herno Della, R. dan Arliansyah, J. 2021. *Manual Praktikum: Rekayasa Lalu Lintas, Journal of Chemical Information and Modeling*. Palembang: Unsri Press.
- Leduc, G. 2008. *Road Traffic Data: Collection Methods and Applications, EUR Number: Technical Note: JRC 47967*. Tersedia pada: <http://ftp.jrc.es/EURdoc/EURdoc/JRC47967.TN.pdf>.
- Stofan, D. 2023. *The Development Of Traffic Data Collection Methods, Good Vision*. Tersedia pada: <https://blog.goodvisionlive.com/the-development-of-traffic-data-collection-methods> (Diakses: 11 Maret 2023).
- Tayror, M.A.P., YOUNG, W. dan Thonlpsen, R.G. 1989. "Headway and Speed Data Acquisition Using Video," *Transportation Research Record*, 1225, hal. 130–139. Tersedia pada: <http://onlinepubs.trb.org/Onlinepubs/trr/1989/1225/1225-015.pdf>.
- Transportation Research Board. 2010. *Highway Capacity Manual: Vol.1 Concepts*. 5th ed. Washington, DC, US: Transportation Research Board. Tersedia pada: <http://hcm.trb.org/?qr=1>.

- Wang, H. dkk. 2020. "A traffic data collection and analysis method based on wireless sensor network," *Eurasip Journal on Wireless Communications and Networking*, 2020(1). Tersedia pada: <https://doi.org/10.1186/s13638-019-1628-5>.
- Yu, X. dan Prevedouros, P.D. 2013. "Performance and Challenges in Utilizing Non-Intrusive Sensors for Traffic Data Collection," *Advances in Remote Sensing*, 02(02), hal. 45–50. Tersedia pada: <https://doi.org/10.4236/ars.2013.22006>.

BAB 4

TEORI ARUS LALU LINTAS (*TRAFFIC FLOW THEORY*)

Oleh Gito Sugiyanto

4.1 Pendahuluan

Pendekatan matematis dapat digunakan untuk memahami pergerakan arus lalu lintas. Untuk itu perlu diketahui variabel-variabel yang mempengaruhi arus lalu lintas. Terdapat tiga variabel utama yang dapat digunakan untuk menjelaskan arus lalu lintas yaitu kecepatan, volume, dan kerapatan (Khisty dan Lall, 2005). Ketiga variabel tersebut menggambarkan kualitas dari kapasitas tingkat pelayanan yang dialami oleh pengemudi masing-masing kendaraan (Suyanto dan Rulhendri, 2015). Tiga variabel utama yang mempengaruhi arus lalu lintas tersebut saling berhubungan. Apabila kerapatan meningkat maka kecepatan akan menurun sedangkan volume kendaraan akan meningkat (Tamin, 2003). Apabila kerapatan terus-menerus meningkat akan mengakibatkan volume kendaraan yang melintas melebihi kapasitas maksimal ruas jalan. Jika kondisi seperti ini terjadi maka kemacetan pada ruas jalan tidak bisa dihindari.

Khisty dan Lall (2005) mengemukakan bahwa terdapat tiga pendekatan untuk memahami dan menghitung arus lalu lintas yaitu makroskopis, mikroskopis, dan faktor manusia. Pendekatan pertama yaitu makroskopis dengan melihat arus lalu lintas secara keseluruhan yang dianalogikan sebagai analogi fisik seperti arus panas dan arus fluida. Pendekatan makroskopis merupakan pendekatan yang paling tepat untuk menjelaskan efisiensi operasional keseluruhan dari sistem. Pendekatan kedua adalah

pendekatan mikroskopis yang melihat respon dari setiap kendaraan secara terpisah. Pendekatan ini digunakan secara luas di dalam upaya pengamanan jalan raya. Pendekatan ketiga adalah pendekatan faktor manusia yang mendefinisikan mekanisme bagaimana pengemudi menempatkan dirinya terhadap kendaraan lainnya dan terhadap jalan raya dan pengaruh lainnya.

Menurut Tamin (2008), dalam suatu pergerakan arus lalu lintas pada jalan raya terdapat 3 (tiga) variabel utama yang digunakan untuk menggambarkan karakteristik arus lalu lintas yaitu arus (*flow*, volume), kecepatan (*speed*), dan kepadatan atau kerapatan (*density*). Berikut ini adalah penjelasan untuk ketiga parameter karakteristik arus lalu lintas.

4.2 Arus Lalu Lintas

Menurut Undang-Undang Republik Indonesia Nomor 22 tahun 2009 tentang Lalu Lintas dan Angkutan Jalan, lalu lintas didefinisikan sebagai gerak kendaraan dan orang di ruang lalu lintas jalan. Ruang lalu lintas yaitu prasarana yang diperuntukkan bagi gerak pindah kendaraan, orang dan/atau barang yang berupa jalan dengan fasilitas pendukungnya. Arus lalu lintas adalah sebuah proses stokastik, dengan variasi acak dalam hal karakteristik kendaraan dan pengemudi serta interaksi diantara keduanya. Arus lalu lintas adalah sebuah proses stokastik, dengan variasi acak dalam hal karakteristik kendaraan dan pengemudi serta interaksi diantara keduanya (Khisty dan Lall, 2005). Keragaman ini membentuk karakteristik lalu lintas yang berbeda untuk setiap komposisi dan berpengaruh terhadap arus secara keseluruhan. Komposisi arus lalu lintas yang ada di lapangan adalah heterogen. Sejumlah kendaraan dengan berbagai jenis, tipe, ukuran dan sifatnya membentuk karakteristik lalu lintas yang berbeda untuk setiap komposisi dan berpengaruh terhadap arus lalu lintas secara keseluruhan (Julianto, 2010).

Menurut Khisty dan Lall (2005), volume dan tingkatan arus lalu lintas adalah ukuran yang berbeda. Volume lalu lintas adalah jumlah kendaraan sebenarnya yang diamati melalui titik selama rentang waktu tertentu sedangkan tingkatan arus (*flow rate*) adalah jumlah kendaraan yang melalui suatu titik dalam waktu kurang dari 1 (satu) jam, tetapi diekuivalenkan ke tingkat rata-rata perjam. Menurut Manual Kapasitas Jalan Indonesia (MKJI) 1997, nilai arus lalu lintas dinyatakan dalam satuan mobil penumpang (smp). Semua nilai arus lalu lintas (per arah dan total) diubah menjadi satuan mobil penumpang (smp) dengan menggunakan ekuivalensi mobil penumpang (emp). Definisi arus lalu lintas menurut Pedoman Kapasitas Jalan Indonesia (PKJI) 2014 adalah jumlah kendaraan bermotor (sering disebut juga volume) yang melalui suatu titik pada jalan per satuan waktu, dinyatakan dalam satuan kend/jam atau skr/jam. Semua nilai arus lalu lintas (per arah dan total) diubah menjadi satuan kendaraan ringan (skr) dengan menggunakan ekuivalensi kendaraan ringan (ekr).

4.2.1 Jenis-jenis Arus Lalu Lintas

Berdasarkan ada atau tidak adanya gangguan maka arus lalu lintas dibedakan menjadi dua jenis, yaitu arus tidak terganggu dan arus terganggu (Soedirdjo, 2001).

a. Arus tidak terganggu (*Un-interrupted flow*)

Yaitu kondisi lalu lintas yang ditentukan oleh interaksi antara kendaraan dengan kendaraan dan antara kendaraan dengan jalan.

Contoh arus tidak terganggu adalah arus kendaraan di jalan tol atau di jalan antar kota.

b. Arus terganggu (*Interrupted flow*)

Yaitu kondisi arus lalu lintas yang ditentukan atau diatur dengan alat, misalnya lampu lalu lintas atau marka jalan.

Volume lalu lintas adalah jumlah kendaraan yang melewati suatu ruas jalan selama satu satuan waktu (jam). Pengamatan

dilakukan selama 24 jam sehari, hal ini diperlukan untuk mendapatkan angka volume jam puncak (VJP). VJP digunakan untuk dasar perancangan jalan raya maupun untuk berbagai analisis operasional (seperti aspek keselamatan/*safety*, kapasitas, dll.).

4.2.2 Faktor Jam Puncak (*Peak Hour Time*)

Tingkat arus lalu lintas bervariasi di dalam periode satu jam. Di dalam periode satu jam dapat ditemui tiga pola arus lalu lintas, yaitu acak, konstan, dan diantara keduanya. Pola arus lalu lintas acak dapat dilihat ketika permintaan lalu lintas lebih kecil dibandingkan dengan kapasitas fasilitas, dan tidak ada permintaan tambahan didekatnya yang tergantung pada jadwal, seperti misalnya lokasi dekat pabrik selama periode awal dan akhir waktu kerja. Pola acak seringkali terjadi pada jalan antar kota (*rural road*) dengan volume rendah. Pola yang kedua yaitu tingkat arus konstan dapat dilihat ketika permintaan melebihi kapasitas dan tingkat arus menggambarkan kapasitas dan bukan permintaan. Tingkat arus lalu lintas mendekati konstan dapat diamati di bagian hilir dari leher botol dimana output diatur atau di bagian hulu leher botol dalam proses antrian. Tingkat keseragaman dari arus tergantung pada periode waktu dimana permintaan melebihi kapasitas (Soedirdjo, 2001).

Pola arus lalu lintas ketiga diantara pola acak dan konstan dimana permintaan tidak melebihi kapasitas tetapi arus tidak acak disebabkan karena perjalanan yang terjadwal. The US *Highway Capacity Manual* 2000 mengatasi hal ini dengan memperkenalkan faktor jam puncak atau PHF = *peak hour factor*. Variasi dalam satu jam dapat diperoleh dengan mencatat pengamatan volume untuk interval 5, 10, atau 15 menit. Makin singkat interval waktu maka semakin tepat atau semakin halus hasil pengamatannya. Meskipun volume jam digunakan dalam perancangan dan analisis lalu lintas, variasi di dalam jam juga perlu diperhatikan. Kualitas dari arus lalu

lintas seringkali berhubungan dengan fluktuasi permintaan lalu lintas pada periode singkat. Suatu fasilitas mungkin cukup untuk melayani permintaan jam puncak, tetapi arus puncak pada periode singkat dalam jam puncak mungkin melebihi kapasitas, sehingga menyebabkan kemacetan lalu lintas (HCM, 2000).

Hubungan antara volume jam puncak dan tingkat arus maksimum di dalam jam didefinisikan oleh faktor jam puncak atau *peak hour factor* (PHF), seperti berikut:

$$PHF = \frac{\text{Volume Jam Puncak}}{\text{Tingkat Arus Maksimum}} \dots\dots\dots (4.1)$$

Untuk arus periode 15-menit, maka Persamaan 6.1 menjadi seperti ditunjukkan pada Persamaan 6.2.

$$PHF = \frac{q_{60}}{4 \times q_{15}} \dots\dots\dots (4.2)$$

dimana:

- q_{60} = tingkat arus jam.
- q_{15} = tingkat arus puncak 15-menit.
- PHF = faktor jam puncak.

Jadi untuk memperkirakan tingkat arus 15-menit, diamati atau diperkirakan arus selama satu jam dan dipilih faktor jam puncak. Secara teoritis PHF bervariasi dari 0,25 sampai 1,00. Nilai 0,25 berarti lalu lintas melintas selama satu periode 15-menit dan nilai 1,00 yang berarti setiap periode 15-menit melintas sejumlah lalu lintas yang sama besar. Nilai PHF umumnya tidak kurang dari 0,80 untuk arus acak dan tidak lebih dari 0,98 untuk arus yang seragam.

4.3 Kecepatan

Menurut Khisty dan Lall (2005), kecepatan didefinisikan sebagai laju dari suatu pergerakan kendaraan seperti jarak per satuan waktu, umumnya dinyatakan dalam satuan *mile per hour*

(mph) atau km/jam. Karena begitu beragamnya kecepatan individu di dalam aliran lalu lintas, maka biasanya digunakan 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 sebagai berikut ini.

$$S = \frac{L}{\sum_{i=1}^n \frac{t_i}{n}} = \frac{nL}{\sum_{i=1}^n t_i} \dots\dots\dots (4.3)$$

dimana:

- S = kecepatan tempuh rata-rata atau kecepatan rata-rata ruang yang dinyatakan dalam satuan mph atau km/jam.
- L = panjang ruas jalan raya yang dinyatakan dalam mil atau km.
- T_i = waktu tempuh dari kendaraan ke- i melalui bagian jalan (jam).
- n = jumlah kendaraan yang diamati.

Dalam perhitungannya, kecepatan rata-rata dapat dibedakan menjadi dua, yaitu kecepatan rata-rata waktu dan kecepatan rata-rata ruang.

1. *Time Mean Speed* (TMS) atau kecepatan rata-rata waktu, yang didefinisikan sebagai kecepatan rata-rata dari seluruh kendaraan yang melewati suatu titik dari jalan selama periode waktu tertentu. Dirumuskan sebagai berikut:

$$S_t = \frac{L}{n} \left(\frac{1}{t_1} + \frac{1}{t_2} + \frac{1}{t_3} \right) \dots\dots\dots (4.4)$$

2. *Space Mean Speed* (SMS) atau kecepatan rata-rata ruang, yaitu kecepatan rata-rata dari seluruh kendaraan yang menempati penggalan jalan selama periode waktu tertentu. Kecepatan rata-rata ruang dirumuskan seperti Persamaan 4.5 sebagai berikut:

$$S_s = \frac{L}{\frac{1}{n} \sum t_i} \dots\dots\dots (4.5)$$

dimana:

- L = panjang penggal jalan.
- N = jumlah sampel kendaraan.

4.4 Kerapatan atau Kepadatan (*Density*)

Menurut Khisty dan Lall (2005) kerapatan atau kepadatan (*density*) didefinisikan sebagai jumlah kendaraan yang menempati suatu panjang jalan atau jalur, dirata-ratakan terhadap waktu, biasanya dinyatakan dalam satuan smp per kilometer. Kepadatan sulit diukur secara langsung di lapangan, melainkan dihitung dengan menggunakan Persamaan 4.6, apabila nilai kecepatan kendaraan dan tingkat arus diketahui.

$$D = \frac{V}{S} \dots\dots\dots (4.6)$$

dimana:

V = volume lalu lintas (smp/jam) atau (skr/jam)

S = kecepatan rata-rata ruang (km/jam)

D = kepadatan atau kerapatan lalu lintas (smp/km) atau (skr/km)

Headway dan Gap

Headway

Headway adalah jarak atau selang waktu antara dua kendaraan yang berurutan pada suatu titik tinjauan. *Headway* diukur dengan cara mencatat waktu antara bumper depan kendaraan pertama melintasi titik tinjau dengan bumper depan kendaraan berikutnya atau disebut juga dengan istilah *front to front*. Terdapat 2 (dua) nilai *headway* yaitu *distance headway* dan *time headway*.

Gap

Gap adalah interval waktu antara keberangkatan kendaraan pertama (bumper belakang) dengan kedatangan kendaraan kedua (bumper depan) pada suatu titik tinjauan atau disebut juga dengan istilah *rear to front*.

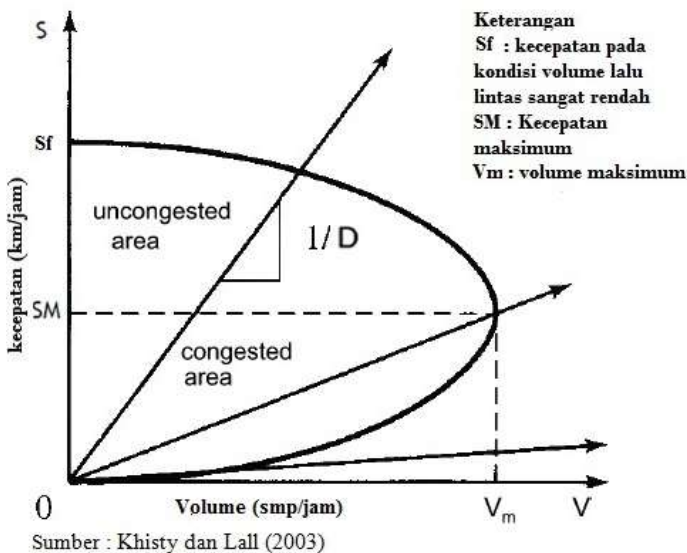
4.5 Hubungan antara Volume, Kecepatan, dan Kepadatan

Menurut Khisty dan Lall (2003), hubungan antara volume, kecepatan, dan kepadatan/kerapatan dapat digambarkan secara grafis dengan menggunakan persamaan matematis. Variabel-

variabel tersebut memiliki hubungan antara satu dengan lainnya, seperti diuraikan sebagai berikut ini.

1) Hubungan Volume-Kecepatan

Menurut Khisty dan Lall (2003), hubungan mendasar antara volume dan kecepatan adalah dengan bertambahnya volume lalu lintas maka kecepatan rata-rata akan berkurang sampai tercapai volume maksimum (V_m). Setelah volume maksimum (V_m) tercapai, maka kecepatan rata-rata dan volume akan berkurang. Pada **Gambar 4.1** berikut ini digambarkan dua kondisi yang berbeda, pada sisi lengan atas untuk *uncongested area* yang menunjukkan kondisi stabil dan pada lengan bawah untuk *congested area* yang menunjukkan kondisi arus padat.

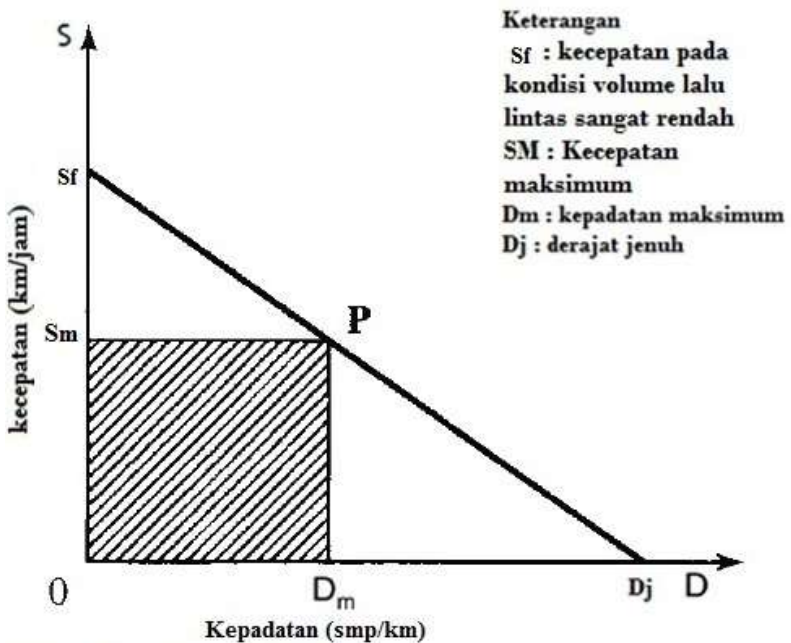


Gambar 4.1. Grafik hubungan antara volume dan kecepatan.

2) Hubungan Kecepatan-Kepadatan

Menurut Khisty dan Lall (2003), kecepatan akan menurun apabila kepadatan bertambah. Kecepatan arus bebas (S_f) akan terjadi apabila kepadatan sama dengan nol sedangkan pada saat

kecepatan sama dengan nol maka akan terjadi kepadatan macet atau *jam density* (D_j). **Gambar 4.2** memperlihatkan hubungan teoritis antara kecepatan dengan kepadatan yang digambarkan dari titik nol menuju sembarang titik pada kurva yang memiliki kemiringan yang berbanding terbalik dengan kepadatan. Daerah S_m - P - D_m -0 mempresentasikan nilai arus untuk kecepatan (S) dan kepadatan (D).

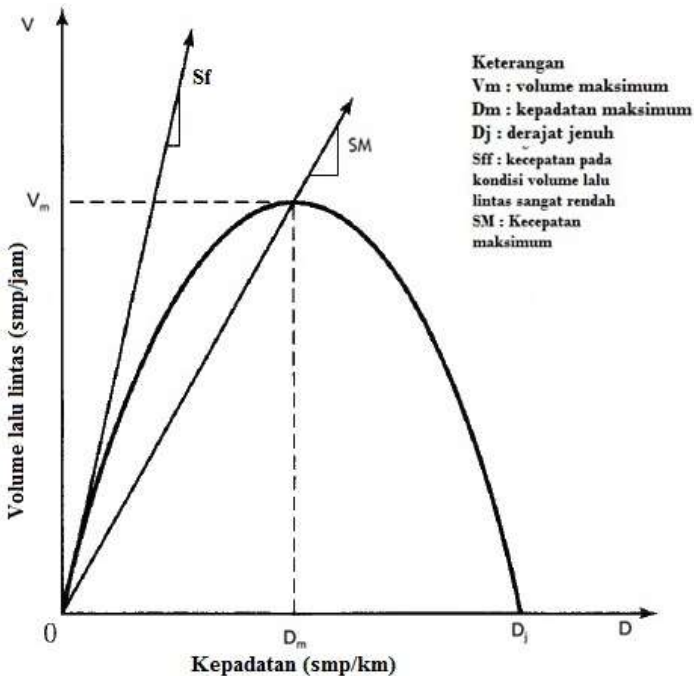


Sumber : Khisty dan Lall (2003)

Gambar 4.2. Grafik hubungan antara kecepatan dan kepadatan.

3) Hubungan Volume-Kepadatan

Menurut Khisty dan Lall (2003), seiring dengan meningkatnya arus, kepadatan pun meningkat, sampai kapasitas lajur jalan raya tersebut tercapai. Titik arus maksimum (V_m) terjadi saat kepadatan optimal (D_m). Dari titik ini menuju kanan, arus menurun ketika kepadatan meningkat. Pada kepadatan macet (D_j), arusnya hampir nol. Pada jalan tol tampak seperti tempat parkir. Pada **Gambar 4.3** memperlihatkan hubungan teoritis antara arus lalu lintas (volume) dengan kepadatan/kerapatan pada sebuah jalur jalan yang dipresentasikan oleh sebuah kurva parabola (Khisty dan Lall, 2003).



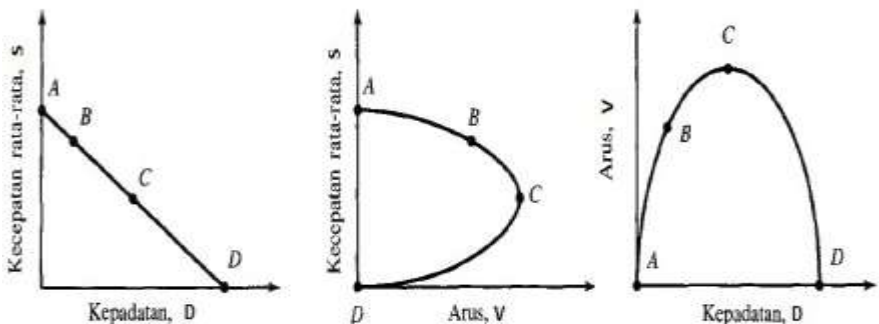
Sumber : Khisty dan Lall (2003)

Gambar 4.3. Grafik hubungan antara volume dan kepadatan

Jika garis-garis yang digambar mulai dari titik nol melalui sembarang titik pada kurva, maka kemiringan (*slope*) garis-garis tersebut mempresentasikan sebagai kecepatan rata-rata maksimum (S_m). Garis dengan kemiringan S_f menunjukkan kecepatan arus bebas rata-rata dan merupakan garis singgung kurva. Kecepatan ini mungkin terjadi ketika kepadatan atau kerapatan hampir nol (Khisty dan Lall, 2003).

4) Analisis Hubungan Kecepatan, Arus, dan Kepadatan

Menurut Khisty dan Lall (2003), diagram hipotesis yang menghubungkan antara kecepatan rata-rata, kepadatan (kerapatan), dan arus lalu lintas serta kondisinya masing-masing dapat dilihat seperti ditunjukkan pada **Gambar 4.4** berikut ini.



Sumber : Khisty dan Lall (2003)

Gambar 4.4. Kurva hubungan antara kecepatan rata-rata, kepadatan/kerapatan, dan arus.

Berdasarkan **Gambar 4.4**, hubungan antara kecepatan rata-rata, kepadatan/kerapatan, dan arus lalu lintas dapat diuraikan sebagai berikut:

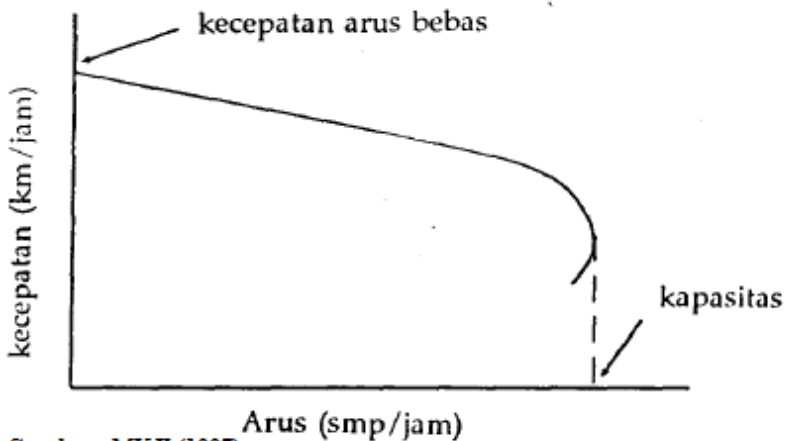
1. Pada titik A, kepadatan (kerapatan) mendekati nol dan hanya terdapat sangat sedikit kendaraan yang berada di jalan. Volume lalu lintas juga mendekati nol, kendaraan

yang sedikit ini dapat menentukan kecepatannya masing-masing atau berpindah lajur tanpa ada kendala. Pada titik A terjadi kecepatan pada kondisi arus bebas (*free flow speed*).

2. Pada titik B, jumlah kendaraan telah meningkat. Hampir tidak ada hambatan, meskipun hambatan-hambatan semacam ini terus meningkat dengan stabil hingga titik C tercapai.
3. Dari titik B ke titik C, kondisi arus dapat disebut normal, tetapi seiring dengan kepadatan (kerapatan) yang meningkat, pengemudi mulai sulit melakukan manuver dengan kendaraan dan berpindah lajur semauanya.
4. Di sekitar titik C, kondisi arus lalu lintas mulai memperlihatkan ketidakstabilan, kecepatan serta kepadatan mengalami turun naik dengan volume lalu lintas sedikit berubah. Titik C adalah titik dimana volume maksimum (V_m) tercapai, kepadatan atau kerapatan maksimum (D_m) tercapai, dan kecepatan mencapai maksimum (S_m).
5. Arus di dekat titik D menurun sampai ke dekat titik nol, di mana kendaraan berbaris sangat mepet. Titik D dikenal dengan istilah kepadatan macet atau *jam density* (D_j). Pengemudi akan merasakan kondisi terbalik dari A ke B, kondisi yang relatif baik dari B ke C, tetapi kondisi yang semakin memburuk dari C ke D (Khisty dan Lall, 2003).

Berdasarkan Manual Kapasitas Jalan Indonesia 1997, prinsip dasar analisis kapasitas jalan adalah kecepatan berkurang jika arus lalu lintas semakin bertambah. Pengurangan kecepatan akibat penambahan arus adalah kecil pada arus rendah, tetapi lebih besar pada arus yang lebih tinggi. Mendekati kapasitas, pertambahan arus yang sedikit akan menghasilkan pengurangan kecepatan yang besar. Bentuk umum hubungan antara kecepatan

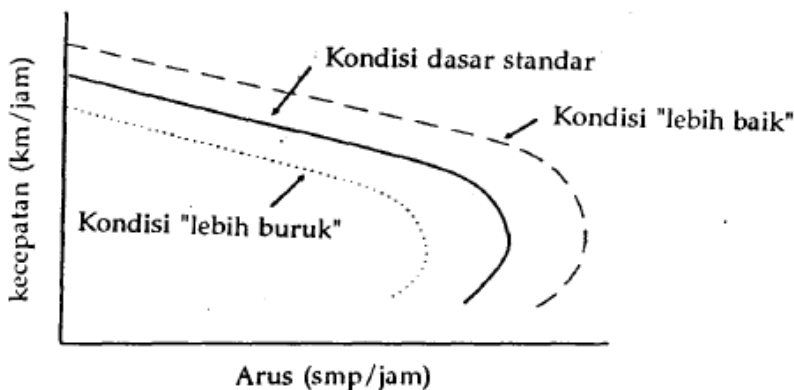
dengan arus lalu lintas seperti ditunjukkan pada **Gambar 4.5** berikut ini (Departemen Pekerjaan Umum, 1997).



Sumber : MKJI (1997)

Gambar 4.5. Bentuk umum hubungan kecepatan dan arus.

Hubungan ini telah ditentukan secara kuantitatif untuk kondisi standar untuk setiap tipe jalan. Setiap kondisi standar mempunyai geometrik standar dan karakteristik lingkungan tertentu. Jika karakteristik jalan lebih baik dari kondisi standar (misalnya lebih lebar dari lebar jalur lalu-lintas normal), kapasitas menjadi lebih tinggi dan kurva bergeser ke sebelah kanan, dengan kecepatan lebih tinggi pada arus tertentu. Jika karakteristik jalan lebih buruk dari kondisi standar (misalnya hambatan samping tinggi) kurva bergeser ke kiri kapasitas menjadi berkurang dan kecepatan pada arus tertentu lebih rendah. Hal ini seperti ditunjukkan pada **Gambar 4.6** berikut ini (Departemen Pekerjaan Umum, 1997).



Sumber : MKJI (1997)

Gambar 4.6. Hubungan antara kecepatan dan arus untuk kondisi standar dan bukan standar.

Strategi untuk mengurangi kemacetan lalu lintas salah satunya yaitu dengan melakukan perubahan rute angkutan umum. Perubahan rute angkutan umum barang (*freight*) dan angkutan umum penumpang ke ruas jalan Jenderal Ahmad Yani memiliki peluang untuk mengurangi kemacetan di Simpang Joglo dan menurunkan tingkat kecelakaan lalu lintas di ruas jalan Monginsidi (Yulianto dan Setiono, 2018).

Hasil analisis dengan menggunakan tiga model yaitu Model Greenshield, Model Greenberg, dan Model Underwood menghasilkan nilai kapasitas tertinggi di Jalan Jenderal Soedirman Purwokerto dan paling mendekati dengan nilai kapasitas jalan berdasarkan MKJI 1997 sebesar 3173,76 smp/jam pada Model Greenshield yaitu 2624,230 smp/jam. Hasil estimasi Model Greenshield dan estimasi berdasarkan MKJI 1997 memiliki perbedaan sebesar 17% (Lusiana dkk., 2021).

DAFTAR PUSTAKA

- Departemen Pekerjaan Umum Republik Indonesia. 1997. "Manual Kapasitas Jalan Indonesi (MKJI) 1997". Jakarta: Direktorat Jenderal Bina Marga, Departemen Pekerjaan Umum Republik Indonesia.
- Julianto, E. N. 2010. "Hubungan antara Kecepatan, Volume, dan Kerapatan Lalu Lintas Ruas Jalan Siliwangi Semarang". Jurnal Teknik Sipil & Perencanaan vol. 12 no. 2, hal. 151-160.
<https://journal.unnes.ac.id/nju/index.php/jtsp/article/download/1348/1453>.
- Kementerian Sekretariat Negara Republik Indonesia. 2009. "Undang-Undang Republik Indonesia Nomor 22 Tahun 2009 tentang Lalu Lintas dan Angkutan Jalan", Jakarta: Kemensesneg.
- Kementerian Pekerjaan Umum Republik Indonesia. 2014. "Pedoman Kapasitas Jalan Indonesia (PKJI)". Jakarta: Direktorat Jenderal Bina Marga, Kementerian Pekerjaan Umum Republik Indonesia.
- Khisty, C. J. dan Lall, B. K. 2003. "Dasar-Dasar Rekayasa Transportasi", Edisi Ketiga Jilid 1. Jakarta: Erlangga.
- Khisty, C. J. dan Lall, B. K. 2005. "Dasar-Dasar Rekayasa Transportasi", Edisi Ketiga Jilid 2. Jakarta: Erlangga.
- Lusiana, I., Sugiyanto, G. dan Hardini, P. 2021. "Analisis Hubungan antara Volume, Kecepatan dan Kerapatan Menggunakan Metode Greenshield, Greenberg dan Underwood Studi Kasus Jalan Jenderal Soedirman Purwokerto". Skripsi. Program Studi Sarjana Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Jenderal Soedirman Purwokerto.
- Soedirdjo, T. L. 2001. "Rekayasa Lalu Lintas". Bandung: Penerbit Institut Teknologi Bandung (ITB) Bandung.

- Suyanto, E. dan Rulhendri. 2015. Studi tentang Penentuan Nilai Volume Lalu Lintas Maksimum Menggunakan Model Greenshield pada Ruas Jalan KM 4. Program Studi Teknik Sipil. Universitas Ibn Khaldun Bogor.
- Tamin, O. Z. 2003. "Perencanaan dan Pemodelan Transportasi". Bandung: Penerbit ITB.
- Tamin, O. Z. 2008. "Perencanaan, Pemodelan & Rekayasa Transportasi: Teori, Contoh Soal, dan Aplikasi". Bandung: Penerbit ITB Bandung.
- Transportation Research Board (TRB) of the National Academies of Science. 2000. "The Highway Capacity Manual (HCM)". Washington, DC: National Academy of Sciences.
- Yulianto, B. dan Setiono. 2018. "Performance Analisis of Gilingan's Underpass Development". Matec Web of Conferences 195 (04011).
<https://doi.org/10.1051/matecconf/201819504011>.

BAB 5

TRAFFIC SHOCKWAVE

Oleh Muhammad Syarif Prasetia Adiguna Rustam

5.1 Pendahuluan

Fenomena yang terjadi saat ini adalah makin meningkatnya angka pertumbuhan kendaraan setiap tahunnya, berdasarkan data dari Kepolisian Republik Indonesia dalam kurun waktu 2018 – 2020 terjadi peningkatan sebesar 0,06% pada tahun 2019, hal yang mengjutkan justru saat terjadi pandemi angka pertumbuhan kendaraan bukannya berkurang akan tetapi meningkat 0,08% jika dibandingkan dengan angka kendaraan pada tahun 2018.

Tabel 5.1. Pertumbuhan Kendaraan 2018 - 2020

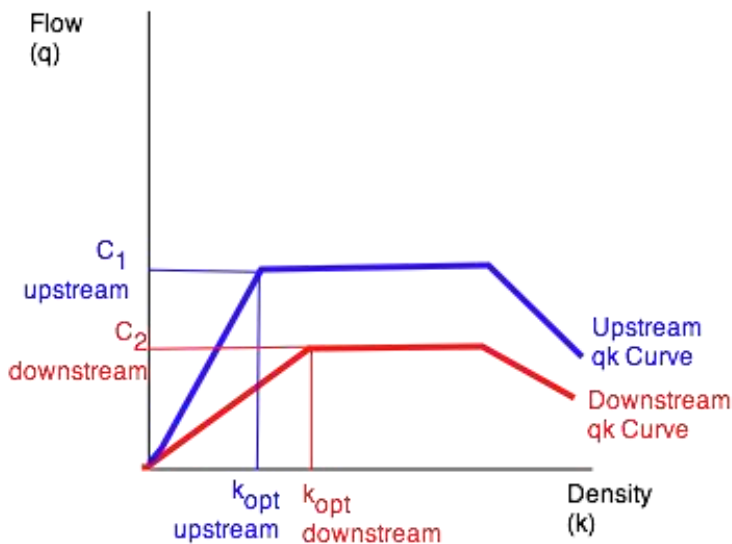
Jenis Kendaraan Bermotor	Perkembangan Jumlah Kendaraan Bermotor Menurut Jenis (Unit)		
	2018	2019	2020
Mobil Penumpang	14,830,698	15,592,419	15,797,746
Mobil Bis	222,872	231,569	233,261
Mobil Barang	4,797,254	5,021,888	5,083,405
Sepeda motor	106,657,952	112,771,136	115,023,039
Jumlah	126,508,776	133,617,012	136,137,451

Sumber : Kepolisian Republik Indonesia

Hal tersebut merupakan salah satu pemberi dampak pada fenomena *Traffic Shockwave*, dimana pertumbuhan kendaraan yang terus meningkat tidak di imbangi dengan kapasitas jalan,

sehingga kepadatan meningkat membuat arus menjadi lebih lambat.

Sesuai dengan definisi *Traffic Shockwave* merupakan terjadinya perubahan tingkat kepadatan dan arus lalu lintas pada periode tertentu sehingga menyebabkan terjadinya antrian pada arus lalu lintas. *Traffic Shockwave* biasanya terjadi akibat adanya penyempitan jalan ataupun menurunnya lajur yang diakibatkan oleh banyak faktor seperti adanya parkir pada badan jalan maupun penyempitan area jembatan dan sebagainya.



Gambar 5.3. Diagram Kurva Traffic Shockwave

(sumber :

en.wikibooks.org/wiki/Fundamentals_of_Transportation)

Jika melihat diagram diatas arus dan kepadatan menjadi akan sangat mempengaruhi terjaidnya *Traffic Shockwave*. Fenomena ini sering terjadi hampir di seluruh perkoataan khususnya pada periode dimana seluruh masyarakat berada di

jalan seperti periode berangkat maupun kembali dari bekerja, berangkat dan Kembali dari sekolah, dan sebagainya.

Akibat dari fenomena Traffic Shockwave ini banyak peneliti nasional maupun international yang membahas permasalahan memodelkan fenomena ini, dimana pada umumnya *Traffic Shockwave* justru terjadi pada persimpangan persimpangan jalan baik itu bersinyal maupun tidak bersinyal sehingga memberikan antrian yang panjang (Wang, Huang and Lo, 2019)(Wang, Huang and Lo, 2020)(Malau and Surbakti, 2013).

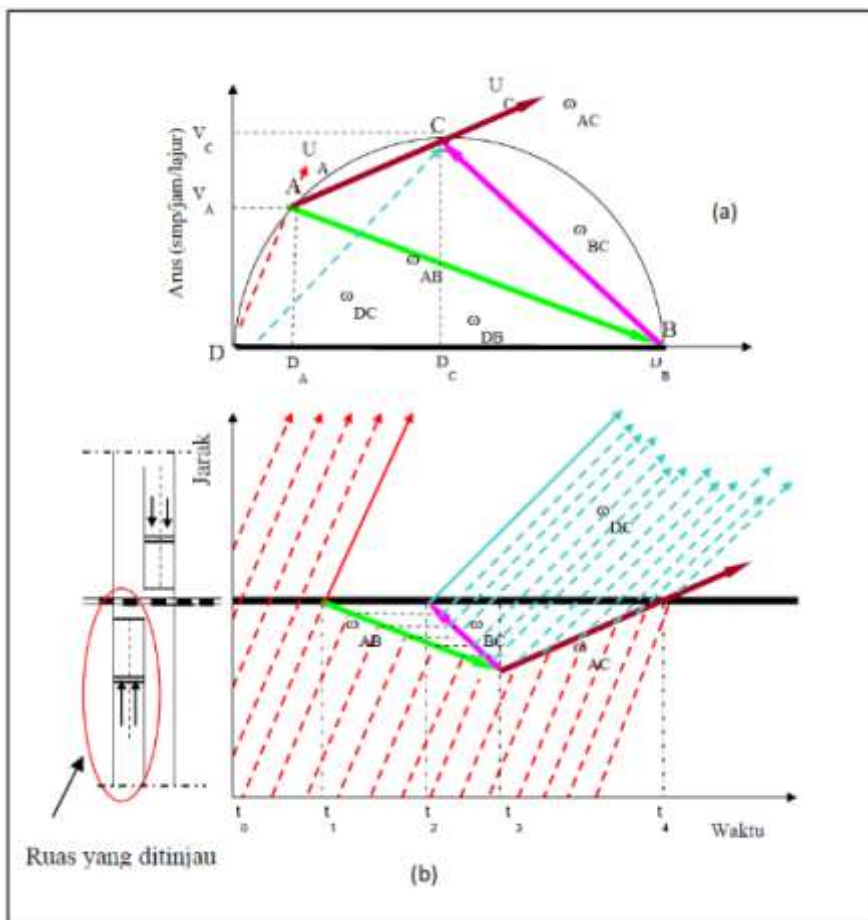
Selanjutnya akan dibahas secara komperhensif terkait Traffic Shockwave baik di pada simpang bersinyal, simpang tidak bersinya serta ruas jalan yang mengalami penyempitan.

5.2 *Traffic Shockwave* pada Simpang Bersinyal

Fenomena *Traffic Shockwave* umunya juga terjadi pada titik simpang yang memiliki fasilitas lampu lalu lintas bersinyal dimana pergantian nyala pada lampu lalu lintas akan berdampak pada terjadinya *Traffic Shocwave* arus dan kepadatan pada lengan akan berpengaruh terhadap penentuan waktu siklus pada sinyal lampu lalu lintas, yang berakibat penurunan kecepatan terjadi pada mulut simpang sehingga kepadatan akan terjadi pada beberapa segmen jalan.

Traffic Shockwave pada simpang dapat diketahui dengan dengan cara menganalisis hubungan antara kepadatan dan arus lalu lintas yakni pada keadaan arus lalu lintas yang mengarah ke lengan masing masing simpang.

Selain simpang bersinyal kendaraan bermotor terdapat juga simpang bersinyal untuk perlintasan kereta api, pada dasarnya hal ini sama saja dikarenakan akan memberikan dampak *Traffic Shockwave* akibat sinyal pada perlintasan kereta, seperti halnya di jelaskan pada gambar.



Gambar 5.4. *Traffic Shockwave pada perlintasan Kereta Api*

Dengan kondisi diatas dapat diselesaikan dengan persamaan berikut :

$$\omega_{DA} = \frac{VA - VD}{DA - DD} = SA \dots\dots\dots(5.1)$$

$$\omega_{DB} = \frac{VB - VD}{DB - DD} = 0 \dots\dots\dots(5.2)$$

$$\omega_{AB} = \frac{VB - VA}{DB - DD} = - \frac{VA}{DB - DA} \dots\dots\dots(5.3)$$

Dimana :

- ω_{DA} = gelombang kejut dari titik kondisi awal D ($V_D = 0$ dan $D_D = 0$) ke titik A (V_A, D_A)
- ω_{DB} = gelombang kejut pada pintu perlintasan ditutup selama kendaraan berhenti sehingga $V_B = 0$ dan $DB =$ kerapatan saat macet
- ω_{aB} = gelombang kejut nilai kerapatan arus pada kondisi volume kendaraan sama dengan volume kebutuhan ($V = V_A$) berangsur – angsur menjadi kerapatan macet (D_B)

Teori LWR atau biasa dikenal dengan teori Lighthill–Whitham–Richards juga banyak digunakan dalam menganalisis *Traffic Shockwave* yang diakibatkan oleh sinyal lampu lalu lintas. Dalam penelitian yang dilakukan Cho dkk, melakukan riset untuk menentukan kecepatan gelombang kejut pada jalan arteri yang cukup padat dengan mengasumsikan volume lalu lintas dimana penelitian tersebut menghasilkan informasi bahwa perlunya pendekatan inovatif untuk memprediksi jumlah lalu lintas pada hulu jalan dimana jumlah angka lalu lintas akan memberikan isyarat terhadap lampu lalu lintas sebelum terjadinya Traffic Shockwave pada simpang bersinyal (Wang, Qi and Jiang, 2018). Teknologi inovasi yang saat ini yang berkembang adalah pengembangan SMART-SINYAL pada arteri seperti yang telah dilakukan dengan memperhatikan :

1. Penentuan waktu fase
2. Prediksi delay Ketika berhenti
3. Volume lalu lintas
4. Tingkat kepadatan

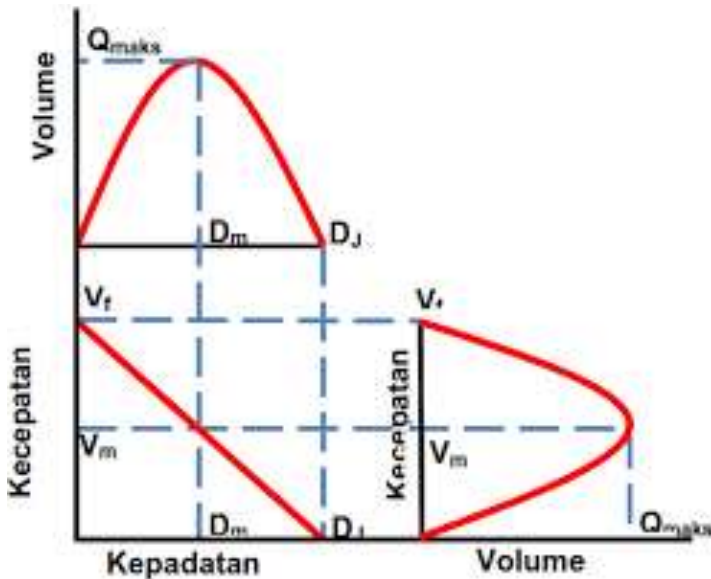
Dengan inovasi SMART-SINYAL tingkat *Traffic Shockwave* dapat dianalisis dengan cepat sehingga peluang terjadinya gelombang kejut yang diakibatkan oleh sinyal lampu lalu lintas dapat diminimalisir, namun hal ini juga akan berdampak pada siklus lampu lalu lintas yang tidak homogen dan akan selalu berubah-ubah menyesuaikan volume lalu lintas dan kepadatan di hulu sebuah ruas jalan sebelum memasuki kawasan persimpangan jalan. Sehingga perlu penelitian lanjutan untuk memecahkan masalah *Traffic Shockwave* di simpang bersinyal.

5.3 Model Greenshield, Greenberg dan Underwood

Model *Greenshield*, Model *Greenberg* serta Model *Underwood* merupakan metode yang familiar digunakan untuk menganalisis hubungan antara kecepatan, kepadatan dan arus dimana ketiga metode ini berhubungan erat, berikut akan di jelaskan secara komperhensif dan singkat terkait teori ini.

5.3.1 Model *Greenshield*

Model metode *Greenshield* awal mulanya digunakan oleh *Greenshield* pada jalan di salah kota di Amerika Serikat, model ini dipercaya sebagai model pertama yang ada di dunia untuk mengamati perilaku lalu lintas di jalan, dimana disimpulkan bahwa hubungan antara kecepatan dengan kepadatan dan kerapatan memiliki sifat linear. Berikut Model *Greenshield* digambarkan dalam hubungan antara grafik:



Gambar 5.3. Kurva hubungan Kecepatan, Kepadatan dan Volume
(Sumber : (Wijayanto, Adawiyah and Abdurrahman, 2021))

Gambar diatas memperlihatkan bahwa terdapat titik yang memperlihatkan tingkat volume lalu lintas pada titik nol terjadi pada dua kondisi yang berbeda. Grafik yang menghubungkan antara kecepatan dengan volume menengaskan bahwa tidak terdapat kendaraan sehingga kerapatan menjadi nol dan tingkat arus pun menjadi nol. Selanjutnya hubungan antara volume lalu lintas dengan kerapatan dimana jika kerapatan menjadi tinggi sehingga kendaraan akan berhenti dimana kondisi ini kecepatan akan menjadi nol sehingga arus lalu lintas juga menjadi nol. Hal ini diartikan bahwa tidak ada lagi kendaraan yang melintas pada titik segmen dimana kondisi ini dapat dikatakan sebagai kemacetan total dimana seluruh kendaraan yang berada pada segmen itu tidak dapat bergerak.

Selanjutnya jika arus dari nol meningkat, maka kerapatan akan terjadi peningkatan karena akan lebih banyak kendaraan

pada segemen tersebut. Jika kondisi seperti ini terjadi maka akan dipastikan kecepatan juga akan menurun karena terjadi interaksi anatar kendaraan. Kecepatan yang menurun dapat diabaikan pada kondisi kerapatan dan arus yang rendah hingga sedang. Namun apabila meningkatnya tingkat kerapatan seperti pada gambar 7.2 bahwa hal tersebut mengindikasikan bahwa kecepatan terjadi penurunan yang cukup cukup berarti sebelum kapasitas jalan memenuhi. Dengan demikian apabila tingkat kerapatan meningkat dari nol maka berbanding lurus dengan yang arus juga akan naik. Beda halnya jika kerapatan terus menerus terus menerus hingga mencapai suatu titik maka akan mengakibatkan terjadinya penyusutan pada kecepatan serta arus lalu lintas.

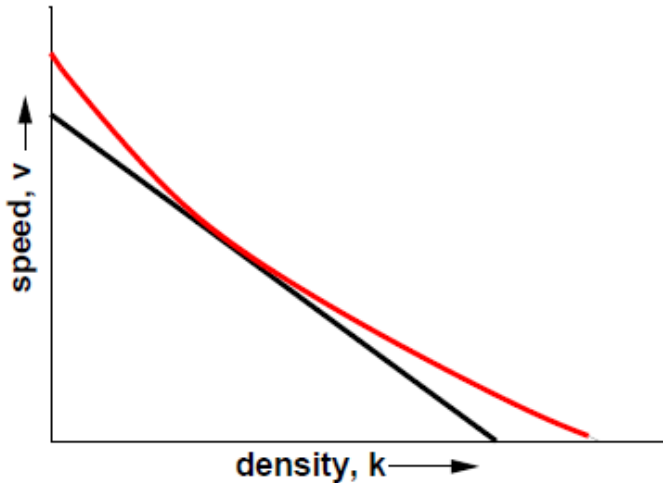
5.3.2 Model *Greenberg*

Model *Greenberg* ini tercipta sejak dimulai pada tahun 1959 dimana mencari model ini dengan mengadakan studi pada terowongan di New York dimana model ini bertujuan menganalisis hubungan anatar kecepatan dan kepadatan dengan menggunakan persamaan kontinuitas pergerakana benda cair, sehingga model ini memiliki kesamaan dengan model arus pada mekanika fluida.

Pada model seperti ini pengetahuan terkait parameter-parameter kecepatan optimal dan pada kondisi kerapatan pada jam puncak. Kepadatan pada kondisi jam puncak akan menjadi sulit untuk diamati serta sulit untuk di estimasi terhadap kecepatan optimum, namun model ini hampir mirip dengan Greenshield dimana model tersebut dapat memberikan asumsi antara kecepatan dan kepadatan sedangkan *Greenberg* sendiri dapat menganalisis hubungan antara volume, kecepatan dan kepadatan dengan mengasumsikan persamaan aliran konstan pada persamaan benda cair dalam bentuk logaritmas.

Selain itu model *greenwood* dikenal dengan suatu persamaan logaritma natural dan persamaan tersebut dijadikan persamaan linear, namun Tamin pada tahun 2008 juga

mengasumsikan bahwa Greenberg memperkirakan bahwa hubungan matematika antara kecepatan dan kepadatan bukan merupakan fungsi yang linear melainkan eksponensial.



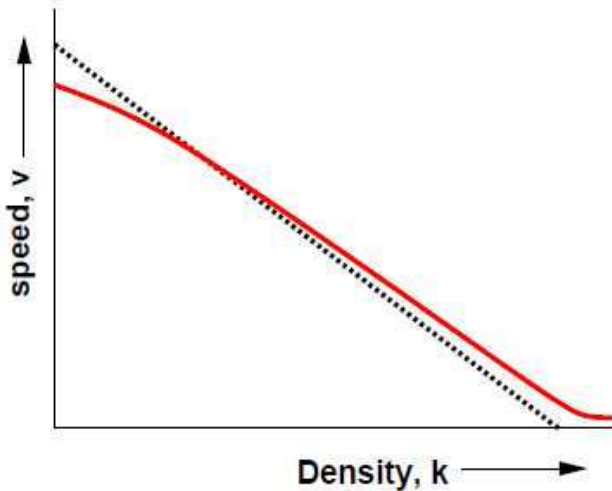
Gambar 5.4. Hubungan Kepadatan Kecepatan Oleh Greenberg
Sumber : (Jabeena, 2013)

Model ini juga sangat banyak di minati karena model ini dapat diturunkan secara analitik, namun mode ini tidak mampu memperkirakan kecepatan dan kepadatan yang rendah apabila kepadatan mendekati nol, sehingga jika kecepatan akan meningkat model ini memiliki keterbatasan untuk analisis kondisi tersebut, Karena kepadatan nol hanya bisa di capai dengan tingkat kecepatan tinggi.

5.3.3 Model *Underwood*

Model *Underwood* merupakan model yang memperkirakan jika hubungan antara kecepatan dan kepadatan yakni hubungan berbentuk eksponensial. Beberapa penelitian menggunakan model ini untuk menganalisis hubungan kecepatan dan kepadatan seperti menganalisis tingkat mobilitas angkutan

umum sehingga dapat mengefisienkan waktu tunggu penumpang (Long *et al.*, 2017), selain itu model ini juga digunakan untuk merencanakan transportasi rekayasa lalu lintas dan karakteristik individu dari pengendara (Jabeena, 2013).



Gambar 5.5. Hubungan Kepadatan Kecepatan Oleh Underwood
Sumber : (Jabeena, 2013)

Model ini juga memiliki kelemahan yakni Kelemahan utama model adalah kecepatan menjadi nol apabila nilai kepadatan tidak terhingga sehingga model seperti ini tidak dapat digunakan untuk memprediksi kecepatan pada kepadatan tinggi. Model menunjukkan kecocokan yang lebih baik jika dibandingkan dengan Model *Greenshield* dan *Greenberg* untuk kondisi tidak terjadi kemacetan.

DAFTAR PUSTAKA

- Jabeena, M. 2013. 'Comparative Study Of Traffic Flow Models And Data Retrieval Methods From Video Graphs', International Journal of Engineering Research and Applications, 3(6), pp. 1087–1093.
- Long, J. et al. 2017. 'A dynamic taxi traffic assignment model: A two-level continuum transportation system approach', Transportation Research Part B: Methodological, 100, pp. 222–254. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.trb.2017.02.005>.
- Malau, R.H. and Surbakti, M.S. 2013. 'APLIKASI SHOCK WAVE ANALYSIS DAN QUEUEING ANALYSIS UNTUK MENGHITUNG PANJANG ANTRIAN PADA PERLINTASAN SEBIDANG Tujuan Penelitian Perlintasan Sebidang Jalan dengan Jalan Rel Arus dan Volume', (1).
- Wang, S., Huang, W. and Lo, H.K. 2019. 'Traffic parameters estimation for signalized intersections based on combined shockwave analysis and Bayesian Network', Transportation Research Part C: Emerging Technologies, 104(September 2018), pp. 22–37. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.trc.2019.04.023>.
- Wang, S., Huang, W. and Lo, H.K. 2020. 'Combining shockwave analysis and Bayesian Network for traffic parameter estimation at signalized intersections considering queue spillback', Transportation Research Part C: Emerging Technologies, 120(September), p. 102807. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.trc.2020.102807>.

- Wang, Z., Qi, X. and Jiang, H. 2018. 'Estimating the spatiotemporal impact of traffic incidents: An integer programming approach consistent with the propagation of shockwaves', *Transportation Research Part B: Methodological*, 111, pp. 356–369. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.trb.2018.02.014>.
- Wijayanto, C.S., Adawiyah, R. and Abdurrahman. 2021. 'ANALISIS HUBUNGAN VOLUME, KECEPATAN DAN KEPADATAN ARUS LALU LINTAS DENGAN MEMBANDINGKAN METODE GREENSHIELD DAN METODE GREENBERG (Studi Empiris Ruas Jalan Ahmad Yani Km 37 Kota Banjarbaru)'.

BAB 6

TEORI ANTRIAN

Oleh Muhammad Djaya Bakri

6.1 Pendahuluan

A. K. Erlang, seorang ahli matematika dari Denmark yang bekerja pada perusahaan telepon di Kopenhagen dicatat sebagai perintis penyusunan teori antrian, yang pada tahun 1909 mempublikasikan "*The Theory of Probabilities Telephone Conversation*". Erlang melakukan eksperimen tentang fluktuasi permintaan fasilitas telepon yang berhubungan dengan *automatic dialing equipment*, yaitu peralatan penyambungan telepon secara otomatis. Ia mengamati kasus kemacetan hubungan telepon di *Copenhagen Telephone* dengan tujuan menentukan permintaan sambungan telepon yang tidak pasti. Pada saat itu hubungan telepon harus melewati operator dan pada saat sibuk pelanggan harus menunggu untuk bisa disambungkan dengan nomor yang ingin dihubungi. A.K. Erlang menemukan model antrian untuk menentukan jumlah optimal dari fasilitas telepon *switching* yang digunakan untuk melayani permintaan yang ada. Selanjutnya, pada tahun 1927, E. C. Molina menerbitkan makalahnya "*Application of the Theory of Probability to Telephone Trunking Problems*". Setahun setelahnya, Thornton Fry menerbitkan buku "Probability and Its Engineering Uses", yang mengembangkan banyak karya Erlang sebelumnya. (Donald Gross *et al.*, 2008).

Kata antrian dalam bahasa Inggris adalah *queueing* atau *waiting line*. Menurut Prawirosentono (2005) dalam Kurniawan *et al* (2015), teori antrian dikenal dalam dunia ilmiah sebagai *queueing theory* atau *waiting line theory*,

merupakan studi matematis mengenai antrian yang di dalamnya disediakan beberapa alternatif model matematika yang dapat digunakan untuk menentukan beberapa karakteristik dan optimasi dalam pengambilan keputusan suatu sistem antrian. Antri adalah berdiri deret dalam suatu barisan memanjang dari depan ke belakang.

Banyaknya aktifitas yang terjadi di bidang transportasi dan permasalahan lalu lintas yang dapat dipecahkan dengan bantuan analisis teori antrian, karenanya teori antrian sangat perlu dipelajari dalam usaha mengenal perilaku pergerakan arus lalu lintas baik manusia maupun kendaraan (Pane *et al*, 2018).

6.2 Karakteristik Sistem Antrian

Heizer dan Render (2022) mengemukakan bahwa dalam sistem antrian terdapat tiga komponen karakteristik yang penting, yaitu: (a) karakteristik kedatangan atau masukan sistem, (b) karakteristik antrian, dan (c) karakteristik pelayanan.

6.2.1 Karakteristik Kedatangan atau Masukan Sistem

Sumber input yang mendatangkan pelanggan bagi sebuah system pelayanan yang merupakan karakteristik kedatangan atau masukan, dicirikan sebagai berikut:

- a. *Ukuran populasi*, dilihat sebagai populasi terbatas dan tidak terbatas. Populasi terbatas merupakan suatu antrian ketika hanya ada pengguna pelayanan yang potensial dengan jumlah terbatas. Populasi dikategorikan tidak terbatas jika jumlah kedatangan (pelanggan) hanya sebagian kecil dari semua kedatangan potensial pada suatu waktu tertentu.
- b. *Perilaku kedatangan*, setiap pelanggan yang memperoleh pelayanan memiliki perilaku yang beragam, seperti ada pelanggan yang patuh berada dalam antrian, tidak tertib dalam antrian hingga berperilaku menyerobot pengantri didepannya.

- c. *Karakteristik kedatangan*, menggambarkan sebaran pelanggan memasuki sistem antrian. Sebaran kedatangan pelanggan, ada yang datang secara acak (*arrival pattern random*), dan ada pelanggan datang setiap periode secara konstan (*constant arrival distribution*).

6.2.2 Karakteristik Antrian

Thomas J. Kakiay (2004) menyebutkan bahwa disiplin antrian adalah aturan di mana para pelanggan dilayani, atau disiplin pelayanan (*service discipline*) yang memuat urutan (*order*) para pelanggan menerima layanan. Pada dasarnya disiplin antrian mengacu pada peraturan pelanggan yang ada dalam antrian untuk menerima pelayanan. Ada 4 bentuk disiplin antrian menurut urutan kedatangan sebagai berikut:

- a. *First Come First Served (FCFS)* atau *First In First Out (FIFO)*, yaitu pelanggan datang pertama, pertama dilayani, seperti pelayanan pada Stasiun Pengisian Bahan Bakar Umum (SPBU), pintu gerbang tol, loket pelayanan bank, dan banyak contoh lainnya.
- b. *Last Come First Served (FCFS)* atau *Last In First Out (LIFO)*, yaitu sistem antrian pelanggan yang datang terakhir, pertama dilayani, seperti antrian kendaraan pada pelayanan kapal feri di pelabuhan penyeberangan. Kendaraan yang lebih awal masuk ke kapal feri, akan keluar terakhir, atau sistem antrian pada elevator lift untuk lantai yang sama.
- c. *Service in Random Order (SIRO)* atau *Random Selection for Service (RSS)*, yaitu sistem pelayanan berupa panggilan dengan peluang acak, tidak peduli siapa yang datang terlebih dahulu. Misalnya, pada penarikan undian yang sebelum dicampurkan dalam suatu kelompok atau wadah.
- d. *Priority Service (PS)*, di mana prioritas pelayanan diberikan kepada pelanggan yang mempunyai prioritas lebih tinggi

dibandingkan dengan pelanggan yang mempunyai prioritas yang lebih rendah, meskipun mungkin yang dahulu tiba di garis tunggu adalah yang terakhir datang. Hal ini mungkin disebabkan oleh beberapa hal, misalnya seseorang yang memiliki penyakit yang lebih berat dibandingkan orang lain pada suatu tempat praktik dokter, menjadi pelanggan potensial akan dilayani terlebih dahulu.

6.2.3 Karakteristik Pelayanan

Pada sistem pelayanan antrian, ada 2 (dua) hal penting yang perlu diperhatikan, yaitu:

- a. *Desain sistem pelayanan*, menurut jumlah saluran yang ada (sistem antrian jalur tunggal dan sistem antrian jalur berganda), dan menurut jumlah tahapan pelayanan (sistem satu tahap dan sistem tahapan berganda)
- b. *Distribusi waktu pelayanan*, tergantung pola kedatangan dimana pola ini biasanya konstan ataupun acak. Waktu yang diperlukan untuk melayani setiap pelanggan relatif sama, jika waktu pelayanan konstan. Sedangkan waktu pelayanan random adalah waktu untuk melayani setiap pelanggan secara acak atau tidak sama.

6.3 Prinsip Teori Antrian

6.3.1 Distribusi Kedatangan

Model antrian adalah model probabilistik karena adanya variabel acak yang sering digambarkan dengan distribusi probabilitas dimasukkan dalam model. Tingkat kedatangan lalu lintas, mungkin saja merata atau dapat mengikuti pola-pola kedatangan acak, atau pola-pola lainnya. Pola distribusi kedatangan acak dapat dianalisis dengan menggunakan distribusi poisson yang merupakan distribusi diskrit dengan rata-rata sama dengan varians.

Distribusi Poisson merupakan proses yang sepenuhnya acak (*completely random process*) karena memiliki sifat bahwa selang waktu yang tersisa sampai pemunculan kejadian berikutnya tidak bergantung pada selang waktu yang telah dilewati dari pemunculan kejadian terakhir. Jika kejadian/kedatangan kendaraan dalam satu periode waktu tertentu berdistribusi Poisson dengan kecepatan rata-rata kedatangan sebesar λ , maka selang waktu antara kedatangan kendaraan adalah eksponensial negatif. Model distribusi poisson untuk analisis perilaku pola kedatangan kendaraan secara acak diformulasikan dengan persamaan berikut:

$$P(x) = \frac{(\lambda t)^x e^{-\lambda t}}{x!}$$

Keterangan:

$P(x)$ = peluang x kendaraan tiba dalam selang waktu t

λ = tingkat kedatangan kendaraan dalam satuan waktu tertentu

t = selang waktu kedatangan kendaraan

e = bilangan eksponensial (= 2,718)

Contoh ilustrasi:

Diketahui sejumlah 360 kendaraan/jam melewati satu titik tertentu pada suatu ruas jalan. Pola kedatangan kendaraan mengikuti distribusi poisson dengan besarnya peluang sejumlah 0, 1, 2, 3, 4, dan lebih dari 5 kendaraan yang datang dengan interval 20 menit.

Peluang kedatangan sejumlah 0, 1, 2, 3, dan 4 kendaraan dihitung sebagai berikut:

$$P(0) = \frac{(0,1 \times 20)^0 e^{-0,1(20)}}{0!} = 0,135$$

$$P(1) = \frac{(0,1 \times 20)^1 e^{-0,1(20)}}{1!} = 0,271$$

$$P(2) = \frac{(0,1 \times 20)^2 e^{-0,1(20)}}{2!} = 0,271$$

$$P(3) = \frac{(0,1 \times 20)^3 e^{-0,1(20)}}{3!} = 0,180$$

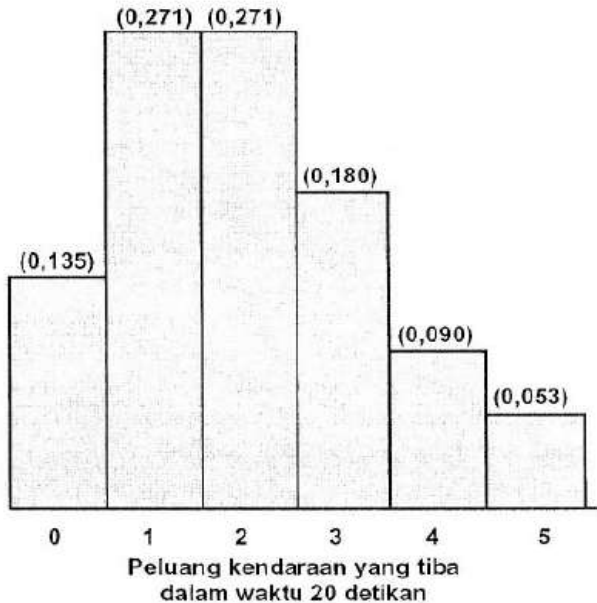
$$P(4) = \frac{(0,1 \times 20)^4 e^{-0,1(20)}}{4!} = 0,090$$

Untuk peluang mendapatkan lebih dari 5 (>5) kendaraan,

$$P(x \geq 5) = 1 - P(x < 5)$$

$$P(x \geq 5) = 1 - 0,135 - 0,271 - 0,271 - 0,180 - 0,090 = 0,053$$

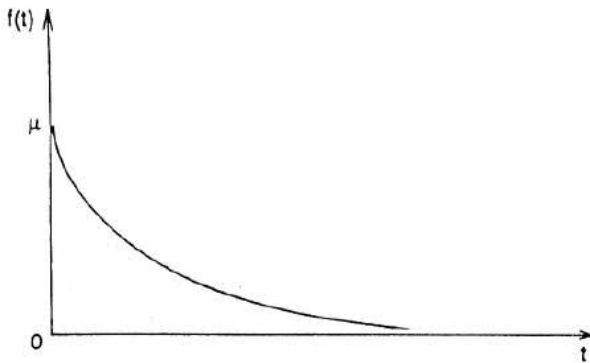
Distribusi peluang kendaraan seperti ditampilkan pada gambar berikut:



Gambar 6.1. Distribusi Poisson untuk kedatangan $\lambda = 0,1$ kendaraan/detik
(Sumber: Tamin, 2008)

6.3.2 Distribusi Waktu Pelayanan

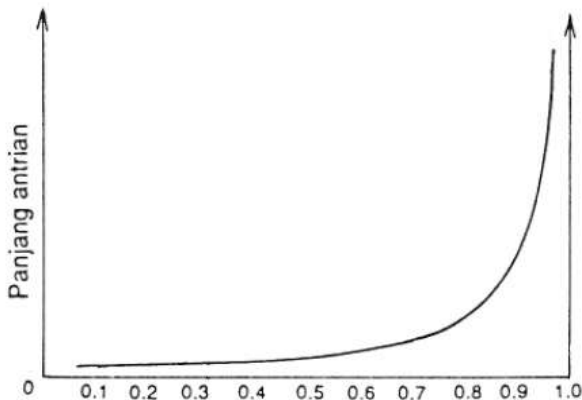
Waktu pelayanan biasanya diasumsikan berdistribusi eksponensial negatif, sehingga tingkat pelayanan mengikuti distribusi Poisson. Distribusi eksponensial negatif adalah distribusi probabilitas kontinu. Untuk memastikan distribusi eksponensial negatif, perlu dilakukan pengujian dengan menggunakan *test goodness of fit* dengan memakai distribusi *chi square*. Contoh grafik distribusi eksponensial negatif sebagaimana grafik berikut:



Gambar 6.2. Contoh Distribusi Eksponensial Negatif
(Sumber: Risdiyanto (2014))

6.3.3 Tingkat Kedatangan dan Tingkat Pelayanan

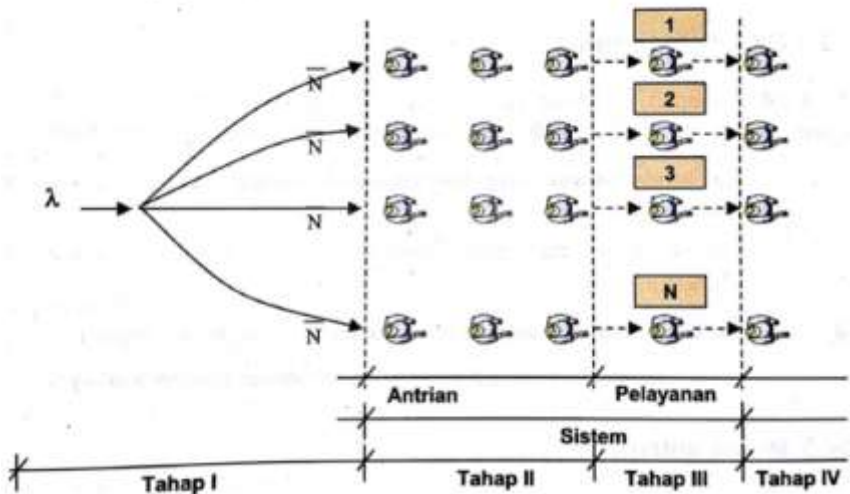
Idealnya tingkat kedatangan lebih kecil dari tingkat pelayanan, agar tidak terjadi antrian panjang. Panjang antrian semakin bertambah jika rasio tingkat kedatangan terhadap tingkat pelayanan semakin besar seperti ditunjukkan grafik berikut:



Gambar 6.3. Perbandingan tingkat kedatangan dan tingkat pelayanan (Sumber: Risdiyanto (2014))

6.4 Proses Antrian

Proses terjadinya antrian terdiri dari 4 (empat) fase sebagaimana dijelaskan sebagai berikut:



Gambar 6.4. Tahapan dalam proses antrian (Sumber: Tamin, 2008)

- Tahap I*, arus lalu lintas bergerak dengan kecepatan tertentu menuju suatu tempat pelayanan. Besarnya arus lalu lintas yang datang disebut dengan tingkat kedatangan (λ).
- Tahap II*, arus lalu lintas mulai bergabung dengan antrian menunggu untuk dilayani. Waktu menunggu atau waktu antrian ini dimulai sejak kendaraan mulai bergabung dengan antrian sampai dengan waktu kendaraan mulai dilayani.
- Tahap III*, arus lalu lintas dilayani oleh suatu tempat pelayanan. Waktu pelayanan dihitung waktu sejak dimulainya kendaraan dilayani sampai dengan waktu kendaraan selesai dilayani.

- d. *Tahap IV*, arus lalu lintas meninggalkan tempat pelayanan melanjutkan perjalanannya.

Aktifitas tahap II dan tahap III bergabung membentuk sistem antrian, dimana waktu dalam sistem antrian didefinisikan sebagai waktu sejak kendaraan mulai bergabung dengan antrian sampai dengan waktu selesainya kendaraan dilayani.

6.5 Parameter Antrian

Terdapat 4 (empat) parameter yang selalu digunakan dalam menganalisis antrian, yaitu:

$\bar{n}$ = jumlah kendaraan atau orang dalam sistem (kendaraan atau orang per satuan waktu)

$\bar{q}$ = jumlah kendaraan atau orang dalam antrian (kendaraan atau orang per satuan waktu)

$\bar{d}$ = waktu kendaraan atau orang menunggu dalam sistem (satuan waktu)

$\bar{w}$ = waktu kendaraan atau orang menunggu dalam antrian (satuan waktu)

6.6 Model Antrian

Model antrian dalam transportasi dibuat untuk menghasilkan alat bantu yang dapat memperkirakan kinerja setiap proses kegiatan transportasi yang berkaitan dengan antrian termasuk waktu dan panjang antrian.

6.6.1 Model Antrian M/M/1

Model antrian (M/M/1) adalah model pelayanan tunggal tanpa kapasitas baik dari kapasitas sistem tersebut maupun kapasitas sumber pemanggilan dengan distribusi kedatangan mengikuti distribusi Poisson. Sedangkan distribusi waktu pelayanan berdistribusi Eksponensial

Dalam model ini para pelanggan tiba dengan tingkat kedatangan rata-rata adalah λ . Kecepatan pelayanan per

pelayan sama dengan μ . Di mana parameter λk mengikuti distribusi Poisson. Sedangkan parameter μ mengikuti distribusi eksponensial. Pelayanan dilakukan atas dasar prioritas yaitu pelanggan dengan prioritas tertinggi akan dilayani terlebih dahulu dibandingkan pelanggan dengan prioritas di bawahnya (Ni'amah dan Sugito, 2011).

Formulasi hubungan antara antrian pada stasiun tunggal dengan kedatangan poisson dan waktu pelayanan eksponensial untuk beberapa kondisi keadaan tetap sebagai berikut:

Tabel 6.1. Hubungan antara antrian pada stasiun tunggal dengan kedatangan Poisson dan waktu pelayanan eksponensial untuk beberapa kondisi keadaan tetap

No.	Model Antrian	Deskripsi Model	
1	$P(n) = \left(\frac{\lambda}{\mu}\right)^n \left(1 - \frac{\lambda}{\mu}\right)$ $= (\rho)^n (1 - \rho)$	P(n)	= kemungkinan terdapatnya tempat kendaraan pada sistem
2	$\bar{n} = \frac{\lambda}{\mu - \lambda} = \frac{\rho}{1 - \rho}$	$\bar{n}$	= jumlah rata-rata kendaraan didalam sistem
3	$Var \bar{q} = \frac{\lambda^2}{\mu(\mu - \lambda^2)}$ $= \frac{\rho^2}{1 - \rho}$	Var (n)	= varian dari n (jumlah kendaraan di dalam sistem)
4	$\bar{q} = \frac{\lambda^2}{\mu(\mu - \lambda^2)} = \frac{\rho^2}{1 - \rho}$	$\bar{q}$	= panjang antrian rata-rata
5	$f(d) = (\mu - \lambda)e^{(\lambda - \mu)d}$	f(d)	= kemungkinan untuk memakai waktu d di dalam sistem antrian

No.	Model Antrian	Deskripsi Model	
6	$\bar{d} = \frac{1}{\mu - \lambda}$	$\bar{d}$	= waktu rata-rata yang digunakan di dalam sistem
7	$\bar{W} = \frac{\lambda}{\mu (\mu - \lambda)}$ $= \bar{d} - \frac{1}{\mu}$	$\bar{W}$	= waktu menunggu rata-rata di dalam antrian
8	$P(d \leq t)$ $= 1 - e^{-(1-\rho)\mu t}$	$P(d \leq t)$	= kemungkinan untuk memakai waktu t atau kurang di dalam sistem antrian
9	$P(W \leq t)$ $= 1 - \rho e^{-(1-\rho)\mu t}$	$P(W \leq t)$	= kemungkinan untuk memakai waktu menunggu t atau kurang di dalam sistem antrian

Keterangan:

- λ = Jumlah rata-rata kendaraan yang tiba persatuan waktu
 - μ = Tingkat pelayanan rata-rata, jumlah kendaran per satuan waktu
 - ρ = Intensitas lalu lintas atau faktor pemakaian = λ/μ
- Sumber: Wohl dan Martin dalam Risdiyanto (2014)

Contoh ilustrasi:

Calon penumpang pesawat, melakukan *check-in* pada konter pasasi suatu maskapai penerbangan di bandara dengan tingkat kedatangan rerata 20 orang per jam. Diasumsikan setiap penumpang dilayani rerata 2 menit. Parameter antrian dapat dianalisis dengan menggunakan persamaan yang

ditampilkan pada Tabel 8.1, dan selanjutnya tahapan perhitungannya disajikan sebagai berikut:

Pelayanan 2 menit/penumpang = 30 orang per jam yang terlayani.

$$\text{Waktu pelayanan} = \rho = \frac{\lambda}{\mu} = \frac{20}{30} = 0,667$$

- 1). Kemungkinan terdapatnya tempat n (=5) konter *check-in* calon penumpang pada sistem:

$$P(n) = \left(\frac{\lambda}{\mu}\right)^n \left(1 - \frac{\lambda}{\mu}\right) = (\rho)^n (1 - \rho) = (0,667)^5 \left(1 - \frac{0,667}{30}\right) = 0,12876$$

- 2). Jumlah rata-rata calon penumpang pada sistem:

$$n = \frac{\lambda}{\mu - \lambda} = \frac{\rho}{1 - \rho} = \frac{0,667}{1 - 0,667} = 2 \text{ orang}$$

- 3). Varian dari n (jumlah calon penumpang didalam sistem):

$$\text{Var}(n) = \frac{\lambda \rho}{(\mu - \lambda)^2} = \frac{\rho}{(1 - \rho)^2} = \frac{0,667}{(1 - 0,667)^2} = 6 \text{ orang}$$

- 4). Panjang antrian rata-rata:

$$\bar{q} = \frac{\lambda^2}{\mu(\mu - \lambda^2)} = \frac{\rho^2}{1 - \rho} = \frac{0,667^2}{1 - 0,667} = 1,33 \text{ orang} \sim 1 \text{ orang}$$

- 5). Kemungkinan untuk memakai waktu d di dalam sistem antrian:

$$f(d) = (\mu - \lambda) e^{(\lambda - \mu)d} = (30 - 20) e^{(20 - 0,667)0,1} = 3,67879$$

- 6). Waktu rata-rata yang digunakan dalam sistem:

$$\bar{d} = \frac{1}{\mu - \lambda} = \frac{1}{30 - 20} = 0,1 \text{ jam} = 360 \text{ detik}$$

- 7). Waktu menunggu rata-rata di dalam antrian:

$$\bar{W} = \frac{\lambda}{\mu(\mu - \lambda)} = \bar{d} - \frac{1}{\mu} = 0,1 - \frac{1}{30} = 0,0667 \text{ jam} = 240 \text{ detik}$$

- 8). Kemungkinan untuk menggunakan waktu t atau kurang dari sistem antrian:

$$P(d \leq t) = 1 - e^{-(1-\rho)\mu t} = 1 - e^{-(1-0,667)30*0,1} = 0,6321$$

9). Kemungkinan untuk memakai waktu menunggu t atau kurang di dalam sistem antrian:

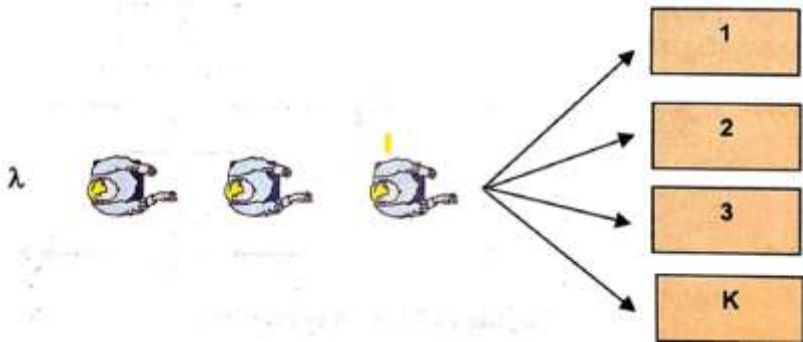
$$P(W \leq t) = 1 - \rho e^{-(1-\rho)\mu t} = 1 - 0,667 e^{-(1-0,667)30*0,1} = 0,754747$$

6.6.2 Antrian Tandem

Antrian tandem adalah antrian dengan disiplin FIFO dimana pengantri tidak bergerak satu-satu, namun sekaligus dua-dua (tandem). Beberapa Stasiun Pengisian Bahan Bakar Umum (SPBU) telah menerapkan sistem ini khususnya pada lajur pelayanan untuk sepeda motor. Pada model tandem ini, misalnya saja tingkat pelayanan per pintu sebesar 250 kendaraan per jam akan menjadi 500 kendaraan per jam untuk dua pintu. Model ini akan berkerja dengan baik jika deviasi waktu pelayanan di tiap pintu relatif kecil, sebaliknya akan terjadi waktu tunggu yang lama jika waktu pelayanan terjadi deviasi cukup besar.

6.6.3 First Vacant First Out (FVFO)

Disiplin antrian *First Vacant First Out* (FVFO) atau *First Vacant First Served* (FVFS) merupakan tipe antrian dengan pengontrolan pada pintu pelayanan untuk mengatasi ketidakefisienan yang terjadi dengan cara bahwa kendaraan/orang yang datang dapat memilih pintu yang leading yaitu menuju pintu pertama kosong. Metode ini lazim terjadi pada loket antrian di bank, loket pembayaran listrik, dan lain-lain. Contoh lainnya, pelayanan pada pintu tol, kendaraan yang pertama tiba akan dilayani oleh tempat pelayanan yang pertama kosong, hanya ada satu antrian tunggal tetapi jumlah pelayanan dapat lebih dari satu sebagaimana ditampilkan pada gambar berikut.



Gambar 6.5. Disiplin antrian FVFO (Sumber: Tamin, 2008)

Hubungan antara antrian pada stasiun ganda dengan kedatangan acak dan waktu pelayanan eksponensial untuk beberapa kondisi keadaan tetap dapat dianalisis menggunakan formula yang dibuat Wohl dan Martin (1967) seperti dikutip Risdiyanto (2014), ditampilkan pada tabel berikut:

Tabel 6.2. Hubungan antara antrian pada stasiun tandem dengan kedatangan Poisson dan waktu pelayanan eksponensial untuk beberapa kondisi keadaan tetap

No	Model antrian	Deskripsi model
1.	$p(n) = \frac{1}{n!} \left(\frac{\lambda}{\mu}\right)^n p(0), \text{ for } n = 0, 1, \dots, k - 1$	= kemungkinan terdapatnya tepat n kendaraan di dalam sistem untuk $0 \leq n < k$
2.	$p(n) = \frac{1}{k! k^{n-k}} \left(\frac{\lambda}{\mu}\right)^k p(0), \text{ for } n \geq k$	= kemungkinan terdapatnya tepat n kendaraan di dalam sistem untuk $n \geq k$
3.	$p(0) = \frac{1}{\left[\sum_{n=0}^{k-1} \frac{1}{n!} \left(\frac{\lambda}{\mu}\right)^n\right] + \frac{1}{k!} \left(\frac{\lambda}{\mu}\right)^k \frac{k\mu}{k\mu - \lambda}}$	= kemungkinan terdapatnya 0 (nol) kendaraan di dalam sistem
4.	$\bar{n} = \frac{\lambda\mu \left(\frac{\lambda}{\mu}\right)^k}{(k-1)! (k\mu - \lambda)^2} p(0) + \frac{\lambda}{\mu}$	= jumlah rata-rata kendaraan di dalam sistem
5.	$\bar{q} = \frac{\lambda\mu \left(\frac{\lambda}{\mu}\right)^k}{(k-1)! (k\mu - \lambda)^2} p(0)$	= panjang antrian rata-rata
6.	$\bar{d} = \frac{\mu \left(\frac{\lambda}{\mu}\right)^k}{(k-1)! (k\mu - \lambda)^2} p(0) + \frac{1}{\mu}$	= waktu rata-rata yang digunakan di dalam sistem
7.	$\bar{w} = \frac{\mu \left(\frac{\lambda}{\mu}\right)^k}{(k-1)! (k\mu - \lambda)^2} p(0)$	= waktu menunggu rata-rata di dalam antrian

8.	$p(d \leq t) = 1 - e^{-\mu t} \left\{ 1 + \frac{p(n \geq k)}{k} \times \frac{1 - e^{-\mu k t \left[1 - \left(\frac{\lambda}{\mu k} \right) - \left(\frac{1}{k} \right) \right]}}{1 - \left(\frac{\lambda}{\mu k} \right) - \left(\frac{1}{k} \right)} \right\}$	= kemungkinan untuk menggunakan waktu t atau kurang dalam sistem
9.	$p(n \geq k) = \sum_{n=k}^{\infty} p(n) = \left(\frac{\lambda}{\mu} \right)^k \frac{p(0)}{k! \left(1 - \frac{\lambda}{\mu k} \right)}$	$p(n \geq t)$ = kemungkinan untuk harus menunggu di dalam antrian

Keterangan :

tk = jumlah stasiun pelayanan atau saluran pelayanan, masing-masing mempunyai tingkat pelayanan μ

λk = tingkat kedatangan rata-rata per stasiun

λ = $k\lambda_k$

ρ = $\lambda/k\mu$ = intensitas lalulintas

Sumber: Wohl dan Martin dalam Risdiyanto (2014)

Contoh ilustrasi:

Sejumlah kendaraan memasuki gerbang tol dengan laju kedatangan sebesar 2.000 kendaraan per jam (=5/9 kendaraan per detik). Jumlah pintu pelayanan ada 3 (tiga) buah, dan tiap pintu mampu melayani 1/3 kendaraan tiap detik. Dengan menggunakan formula yang ditampilkan pada Tabel 8.2, dapat dihitung waktu dan panjang antrian dengan: (a) Disiplin antrian FIFO, dan (b) Disiplin antrian FVFO.

a. Disiplin antrian FIFO

Kedatangan 2.000 kendaraan/jam membagi rata menuju ke semua pintu pelayanan menjadi 666,67 kendaraan/jam atau $5/27$ kendaraan/detik. Dengan demikian $\lambda = 5/27$. Tingkat pelayanan sebesar $\mu = 1/3$.

$$\rho = \frac{\lambda}{\mu} = \frac{5/27}{1/3} = \frac{5}{9}$$

- 1) Jumlah rata-rata kendaraan di dalam sistem:

$$\bar{n} = \frac{\lambda}{\mu - \lambda} = \frac{\rho}{1 - \rho} = \frac{5/9}{1 - 5/9} = 1,25 \text{ kendaraan}$$

- 2) Panjang antrian rata-rata:

$$\bar{n} = \frac{\rho^2}{1 - \rho} = \frac{25/81}{1 - 5/9} = 0,694 \text{ kendaraan}$$

- 3) Waktu rata-rata yang digunakan dalam sistem:

$$\bar{d} = \frac{1}{\mu - \lambda} = \frac{1}{\frac{1}{3} - 5/27} = 6,75 \text{ detik/kendaraan}$$

- 4) Waktu menunggu rata-rata di dalam antrian:

$$\bar{W} = \frac{\lambda}{\mu(\mu - \lambda)} = \frac{5/27}{\frac{1}{3}(\frac{1}{3} - \frac{5}{27})} = 3,75 \text{ detik/kendaraan}$$

b. Disiplin antrian FVFO

Kedatangan 2.000 kendaraan/jam, maka $\lambda = 5/9$. Tingkat pelayanan sebesar $\mu = 1/3$, dan $k = 3$.

$$\rho = \frac{\lambda}{\mu} = \frac{5/9}{1/3} = \frac{5}{3}$$

$$P(0) = \frac{1}{\left[\sum_{n=0}^{k-1} \frac{1}{n!} \left(\frac{\lambda}{\mu} \right)^n \right] + \frac{1}{k!} \left(\frac{\lambda}{\mu} \right)^k \frac{k\mu}{k\mu - \lambda}}$$

$$P(0) = \frac{1}{\left[\sum_{n=0}^2 \frac{1}{n!} \left(\frac{5}{3} \right)^n \right] + \frac{1}{3!} \left(\frac{5}{3} \right)^3 \frac{1}{1 - 5/9}} = 0,293878$$

- 1) Jumlah rata-rata kendaraan di dalam sistem:

$$\bar{n} = \frac{\lambda \mu \left(\frac{\lambda}{\mu} \right)^k}{(k-1)! (k\mu - \lambda)^2} P(0) + \frac{\lambda}{\mu}$$

$$\bar{n} = \frac{\left(\frac{5}{9}\right)\left(\frac{1}{3}\right)\left(\frac{5}{3}\right)^3}{(3-1)!\left(1-\frac{5}{9}\right)^2} (0,293878) + \frac{5}{3} = 2,304$$

2) Panjang antrian rata-rata:

$$\bar{q} = \bar{n} - \frac{\lambda}{\mu} = 2,304 - \frac{5}{3} = 0,638 \text{ kendaraan}$$

3) Waktu rata-rata yang digunakan dalam sistem:

$$\bar{d} = \frac{\bar{q}}{\lambda} + \frac{1}{\mu} = \frac{0,638}{5/9} + \frac{1}{1/3} = 4,15 \text{ detik/kendaraan}$$

4) Waktu menunggu rata-rata di dalam antrian:

$$\bar{W} = \frac{\bar{q}}{\lambda} = \frac{0,638}{5/9} = 1,15 \text{ detik/kendaraan}$$

Perbandingan hasil perhitungan antara disiplin antrian FIFO dengan disiplin antrian FVFO ditampilkan pada tabel berikut:

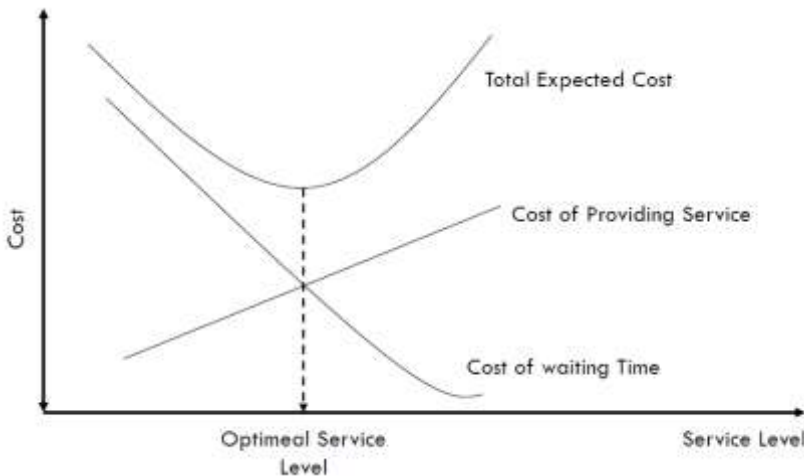
Tabel 6.3. Perbandingan hasil analisis disiplin antrian FIFO dengan FVFO

Parameter		FIFO	FVFO
$\bar{n}$	Kendaraan dalam sistem (kend)	1,25	2,304
$\bar{q}$	Kendaraan dalam antrian (kend)	0,694	0,638
$\bar{d}$	Waktu dalam sistem (detik/kend)	6,75	4,15
$\bar{W}$	Waktu dalam antrian (detik/kend)	3,75	1,15

Hasil analisis diatas, dapat dilihat bahwa jika waktu tunggu dalam antrian yang paling singkat, maka prioritas terbaik adalah disiplin antrian FVFO dibanding FIFO.

6.7 Manfaat Teori Antrian

Teori antrian diterapkan pada proses pelayanan bertujuan untuk meminimumkan toatal dua biaya, yaitu biaya langsung penyediaan fasilitas pelayanan, dan biaya tidak langsung yang timbul karena para individu (pelanggan) harus menunggu untuk dilayani. Jika sustu sistem mempunyai fasilitas pelayanan lebih dari jumlah optimal maka investasi berlebihan, sebaliknya jika jumlah fasilitas sedikit, maka mengakibatkan pelanggan harus mengalami antri yang lama. Hal ini seperti pada pelayanan di gerbang tol, meskipun *operation cost* penyedia jasa jalan tol menjadi kecil. Fenomena ini seperti digambarkan pada grafik dibawah, dimana pada titik keseimbangan, antara pelanggan dan penyedia jasa akan mendapatkan keuntungan optimum dari situasi antrian.



Gambar 6.6. Biaya-biaya di dalam model antrian (Sumber: Risdiyanto (2014))

DAFTAR PUSTAKA

- Donald Gross *et al.* 2008. *Fundamentals of Queueing Theory*. Fourth Edi. Edited by D. J. Balding *et al.* Hoboken, New Jersey: John Wiley & Sons, Inc.
- Heizer, J. and Render, B. 2022. *Manajemen Operasi: Manajemen Keberlangsungan dan Rantai Pasokan*. Edisi 11. Jakarta: Salemba Empat.
- Kakiay, T. J. 2004. *Dasar Teori Antrian Untuk Kehidupan Nyata*. Yogyakarta: Penerbit Andi.
- Kurniawan, A., Sugito and Wilandari, Y. 2015. 'Analisis Antrian Angkutan Penyeberangan Pelabuhan Merak', *Jurnal Gaussian*, 4(3), pp. 431–440.
- Ni'amah, D. and Sugito. 2011. 'Sistem Antrian Dengan Prioritas Pelayanan', in *Prosiding Seminar Nasional Statistika Universitas Diponegoro 2011*. Semarang, pp. 292–304.
- Pane, F. P., Rompis, S. Y. R. and Timboeleng, J. A. 2018. 'Analisa Perbandingan Panjang Antrian Menggunakan Teori Antrian dan Analisa Gelombang Kejut di Loket Keluar Kendaraan Kawasan Megamas Manado', *Jurnal Sipil Statik*, 6(2), pp. 101–112. Available at: <https://ejournal.unsrat.ac.id/index.php/jss/article/view/19279>.
- Risdiyanto. 2014. *Rekayasa dan Manajemen Lalu Lintas: Teori dan Aplikasi*. Pertama. Yogyakarta: LeutikaPrio.
- Tamin, O. Z. 2008. *Perencanaan, Pemodelan, & Rekayasa Transportasi: Teori, Contoh Soal, dan Aplikasi*. Bandung: Penerbit ITB.

BAB 7

RAMBU LALU LINTAS

Oleh Andi Ibrahim Yunus

7.1 Pendahuluan

Rambu lalu lintas yang berupa atribut, huruf, nilai, kalimat, dan/atau perpaduan yakni salah satu dari begitu bermacam-macam unsur fasilitas di jalan raya berguna sebagai teguran, larangan, perintah, atau penuntun bagi pengguna jalan (Fikri Ahmad Ramdhan, 1:2017; Hartadi S.W., 1:2019; Nurkholid F. 1:2018).

Ketetapan Menteri Perhubungan Nomor 13 tahun 2014 telah menyusun dan menetapkan ketentuan rambu lalu lintas. Terdapat separuh kategori pada rambu lalu lintas, ialah rambu peringatan, rambu penuntun, rambu perintah, dan rambu larangan (Fikri Ahmad Ramdhan, 1:2017).

Rambu lalu lintas sebagai petunjuk tata tertib jalan berguna untuk ketertiban dan kenyamanan para pengguna jalan biasa ditemui pada masing-masing sudut jalan. Kurangnya pemberitahuan serta pengetahuan masyarakat tentang rambu lalu lintas diciptakan untuk dipatuhi oleh pengguna jalan sampai belum semua masyarakat mengerti makna dari masing-masing petunjuk rambu-rambu lalu lintas yang ada (Anonim).

7.2 Pengertian

Berdasarkan KBBI (Kamus Besar Bahasa Indonesia) kata rambu berarti penuntun atau semboyan sebagai penuntun untuk tidak memperbolehkan, mengingatkan, menunjukan dan mendapattahkan tentang sesuatu makna untuk diikuti dan diketahui (Lilik Muzaki, 2013).

Berdasarkan Peraturan No 22 Tahun 2009 kata lalu lintas didefinisikan sebagai aksi alat transportasi dan orang di ruang lalu lintas jalan, sedangkan yang dimaksud dengan ruang lalu lintas jalan adalah prasarana yang diperlukan bagi aksi pindah alat transportasi, orang, dan/atau barang yang berupa jalan dan perlengkapan pendukung (Undang-Undang No. 22, 2009).

Transportasi adalah pengangkutan barang oleh berbagai macam kendaraan sesuai dengan kemajuan teknologi. Arti lainnya dari transportasi adalah perihal (seluk-beluk) transpor (Andi Ibrahim Yunus, 51:2023).

Berdasarkan Ketetapan Menteri Perhubungan Nomor 13 Tahun 2014 menyusun rambu lalu lintas. Rambu lalu lintas adalah unsur dari fasilitas jalan yang memuat atribut, huruf, nilai, kalimat dan/atau perpaduan di antaranya, yang berguna mendapatkan teguran, larangan, perintah dan penuntun bagi pengguna jalan (Wikipedia Bahasa Indonesia, Ensiklopedia bebas, 2022).

Rambu lalu lintas yakni alat pengendali lalu lintas untuk menyampaikan pemberitahuan berupa teguran, larangan, perintah, atau penuntun dengan maksud untuk menjaga keamanan, ketertiban, kelancaran, dan kenyamanan bagi pengguna jalan (Admin, 2020).

Rambu-rambu lalu lintas adalah papan penuntun yang didirikan di bidang atau di atas jalan berguna mendapat instruksi atau pemberitahuan terhadap pengguna jalan (Tips Sahabat Otomotif, 2019).

7.3 Fungsi Rambu Lalu Lintas

Rambu lalu lintas membantu mencegah terjadinya musibah lalu lintas serta berguna untuk memudahkan pengemudi dan sebagai navigasi dalam perjalanan.

Menurut berbagai macam pesan yang diberikan rambu lalu lintas yang sering ditemui di jalan ternyata mempunyai 4 (empat) fungsi yang sangat bermanfaat untuk pengguna jalan.

Rambu lalu lintas mempunyai fungsi teguran, larangan, perintah, dan penuntun.

1. Rambu peringatan

Rambu ini sangat fundamental untuk diamati bermaksud untuk mendapat teguran terhadap pengguna jalan bakal hadir potensi bahaya (Tribun Pontianak, 2021).

Menurut fungsi rambu peringatan identitas utama dari rambu ini ialah mempunyai motif dasar kuning serta motif hitam pada garis tepi, motif atribut, motif huruf dan atau nilai (Tribun Pontianak, 2021).

Misalnya rambu peringatan ialah rambu tanjakan curam dan rambu penyempitan jalan di unsur kanan dan kiri (Tribun Pontianak, 2021).

2. Rambu larangan

Rambu larangan juga sangat fundamental untuk diamati serta tidak boleh dilakukan oleh pengguna jalan bermaksud untuk mendapat tahu pengguna jalan tentang perbuatan yang tidak boleh dilakukan (Tribun Pontianak, 2021).

Identitas utama dari rambu larangan ialah mempunyai motif dasar putih, motif merah pada garis tepi serta kata-kata larangan, dan motif hitam pada atribut, huruf dan atau nilai (Tribun Pontianak, 2021).

Misalnya rambu larangan ialah rambu tidak boleh berhenti, rambu tidak boleh putar balik, dan rambu tidak boleh parkir (Tribun Pontianak, 2021).

3. Rambu perintah

Rambu perintah juga sangat fundamental untuk diamati dan dituruti bermaksud untuk mendapatkan perintah yang harus dilakukan pengguna jalan (Tribun Pontianak, 2021).

Identitas utama dari rambu perintah ialah mempunyai motif dasar biru, motif putih pada garis tepi, atribut, motif huruf, dan atau nilai, serta kata-kata (Tribun Pontianak, 2021).

Misalnya rambu perintah ialah rambu harus mengikuti arah ke kiri dan rambu harus mengikuti arah ke kanan (Tribun Pontianak, 2021).

4. Rambu penuntun

Rambu ini sangat fundamental untuk diamati dan untuk diikuti bermaksud untuk mendapat panduan atau pemberitahuan terhadap pengguna jalan (Tribun Pontianak, 2021).

Identitas utama dari rambu penuntun ialah mempunyai motif dasar hijau, motif putih pada garis tepi, atribut, huruf dan atau nilai (Tribun Pontianak, 2021).

Misalnya rambu penuntun ialah rambu penunjuk arah ke suatu zona atau daerah (Tribun Pontianak, 2021). Selalu amati rambu-rambu lalu lintas dan berhati-hati dalam mengemudi (Tribun Pontianak, 2021).

7.4 Berbagai macam Rambu Lalu Lintas

Ketetapan Menteri Perhubungan Nomor 13 Tahun 2014 telah menyusun separuh berbagai macam rambu lalu lintas sesuai kebutuhan dan fungsinya, antara lain:

1. Rambu peringatan.

Rambu peringatan digunakan untuk mendapat teguran kemungkinan ada bahaya atau zona berbahaya di depan pengguna jalan. Motif dasar rambu peringatan bermotif kuning dengan atribut atau teks bermotif hitam (Admin, 2020).

Rambu perintah adalah rambu-rambu yang berisi perintah terhadap para pengguna jalan yang harus untuk dipatuhi. Ada bermacam-macam petunjuk rambu perintah yang mempunyai maknanya masing-masing (Tips Sahabat Otomotif, 2019).

Makna dan gambar rambu perintah.

Pada umumnya, rambu perintah bermotif biru berupa bulat dengan unsur atributnya bermotif putih. Berikut separuh gambar penuntun rambu lalu lintas perintah dan maknanya (Tips Sahabat Otomotif, 2019).



Gambar 7.1. Rambu-Rambu Lalu Lintas Perintah.

- a. Penuntun panah kiri.



Gambar 7.2. Panah Kiri.

Makna penuntun ialah pengemudi diarahkan untuk menuruti jalur ke arah kiri (Tips Sahabat Otomotif, 2019).

- b. Penuntun panah kanan.



Gambar 7.3. Panah Kanan.

Makna penuntun ialah pengemudi diarahkan untuk menuruti jalur ke arah kanan (Tips Sahabat Otomotif, 2019).

- c. Penuntun panah balik arah kiri.



Gambar 7.4. Balik arah Kiri

Makna penuntun ialah pengemudi diarahkan untuk balik arah ke arah kiri (Tips Sahabat Otomotif, 2019).

- d. Penuntun panah balik arah kanan



Gambar 7.5. Balik arah Kanan.

Makna penuntun ialah pengemudi diarahkan untuk balik arah ke arah kanan (Tips Sahabat Otomotif, 2019).

- e. Penuntun panah atas.



Gambar 7.6. Panah Atas.

Makna penuntun ialah pengemudi diwajibkan untuk terus melangkah lurus. Rambu ini biasa bisa ditemui pada jalan tol atau jalan sejalan yang tidak memperbolehkan pengemudi untuk berbalik arah atau berbalik arah (Tips Sahabat Otomotif, 2019).

- f. Penuntun panah bawah simpang kiri



Gambar 7.7. Simpang Kiri.

Makna penuntun ialah pengemudi diarahkan untuk ikut ke jalur atau lajur yang diminta oleh rambu ialah ke kiri (Tips Sahabat Otomotif, 2019).

- g. Penuntun panah bawah simpang kanan.



Gambar 7.8. Simpang Kanan.

Makna penuntun ialah pengemudi diarahkan untuk ikut ke jalur yang diminta oleh rambu ialah ke kanan (Tips Sahabat Otomotif, 2019).

- h. Penuntun nilai kecepatan minimum dalam kilometer (km)



Gambar 7.9. Kecepatan Minimum.

Makna penuntun ialah mengemudi tidak boleh melebihi akhir kecepatan atau kurang dari akhir kecepatan. Makna rambu ini adalah akhir minimum kecepatan yang wajib diambil oleh pengemudi ialah 40 km/jam (Tips Sahabat Otomotif, 2019).

2. Rambu Larangan.

Rambu larangan memperlihatkan perbuatan yang tidak boleh dilakukan oleh pengguna jalan. Motif dasar dari rambu berbagai macam ini adalah bermotif putih dan atribut atau teks bermotif hitam atau merah (Admin, 2020).

Makna dan gambar rambu larangan.



Gambar 7.10. Rambu Larangan.

Sesuai dengan makna rambu larangan yang tidak memperbolehkan pengguna jalan melaksanakan sesuatu, maka motif atribut pada rambu larangan biasanya diciptakan dari motif merah serta hitam. Sementara untuk motif latar adalah motif putih (Tips Sahabat Otomotif, 2019).

a. Penuntun bertuliskan STOP.



Gambar 7.11. Stop.

Makna penuntun ialah atribut Stop dengan latar merah berarti pengemudi tidak boleh untuk terus melangkah di suatu jalur. Pengemudi diwajibkan untuk berhenti baik sementara maupun ketika perihal sudah dipastikan aman dan selamat dari hadir konflik lalu lintas (Tips Sahabat Otomotif, 2019).

- b. Penuntun strip.



Gambar 7.12. Stop.

Makna penuntun ialah penuntun strip ini mempunyai makna tidak boleh ikut ke suatu zona baik bagi alat transportasi bermesin maupun yang tidak bermesin kecuali ada tanpa pengecualian bagi pihak khusus (Tips Sahabat Otomotif, 2019).

- c. Penuntun nilai kecepatan maksimum dalam kilometer (km).



Gambar 7.13. Maksimum.

Makna penuntun ialah pengguna jalan tidak boleh untuk mengemudi melalui akhir kecepatan 40 km/jam (Tips Sahabat Otomotif, 2019).

- d. Penuntun S dicoret.



Gambar 7.14. Stop.

Makna penuntun ialah rambu larangan S atau *Stop* di garis ini mempunyai makna bahwa pengguna jalan tidak boleh untuk berhenti dari mulai zona pemasangan penuntun sampai selisih 15 meter diselaraskan dengan arah lalu lintas (mengenai selisih dapat berubah bilamana ada penuntun

pengecualian di papan aksesoris) (Tips Sahabat Otomotif, 2019).

e. Penuntun P dicoret.



Gambar 7.15. Tidak Boleh Parkir.

Makna penuntun ialah rambu larangan P atau Parkir di garis ini mempunyai makna bahwa pengguna jalan tidak boleh untuk memarkir alat transportasinya dari mulai zona pemasangan penuntun sampai selisih 15 meter diselaraskan dengan arah lalu lintas (mengenai selisih dapat berubah bilamana ada penuntun pengecualian di papan aksesoris) (Tips Sahabat Otomotif, 2019).

f. Penuntun putar balik dicoret.



Gambar 7.16. Tidak Boleh Putar Balik.

Makna penuntun ialah rambu ini biasa Pengemudi temui di percabangan atau di jalan sejalan untuk tidak memperbolehkan pengguna jalan baik itu alat transportasi bermesin maupun yang tidak bermesin untuk berbalik arah (Tips Sahabat Otomotif, 2019).

- g. Penuntun balik arah kiri dicoret.



Gambar 7.17. Tidak Boleh Ke Kiri.

Makna penuntun ialah rambu larangan ini biasa dipakaikan pada jalur jalan yang sejalan lalu lintas ataupun jalan dengan simpangan. Tujuan dari rambu larangan ini adalah untuk tidak memperbolehkan para pengguna jalan baik alat transportasi bermesin ataupun pengguna jalan tidak bermesin untuk berbalik arah ke arah kanan (Tips Sahabat Otomotif, 2019).

- h. Penuntun balik arah kanan dicoret.



Gambar 7.18. Tidak Boleh Ke Kanan.

Makna penuntun ialah rambu larangan ini tidak memperbolehkan para pengguna jalan baik alat transportasi bermesin ataupun pengguna jalan tidak bermesin untuk berbalik arah ke arah kanan (Tips Sahabat Otomotif, 2019).

3. Rambu Perintah.

Rambu ini menyatakan perintah yang wajib dilakukan oleh pengguna jalan. Rambu perintah berupa bulat bermotif biru dan atribut atau teks bermotif putih serta merah untuk garis simpang sebagai akhir akhir perintah (Admin, 2020).

Makna dan gambar rambu peringatan.



Gambar 7.19. Rambu peringatan.

Berbeda dengan gambar penuntun rambu-rambu lalu lintas sebelumnya, rambu peringatan mempunyai motif dominan kuning dengan atributnya bermotif hitam (Tips Sahabat Otomotif, 2019).

Identitas rambu peringatan pada umumnya adalah belah ketupat dan mempunyai isi berupa teguran terhadap para pengguna jalanannya supaya lebih waspada mengenai hambatan yang ada di depan (Tips Sahabat Otomotif, 2019).

a. Penuntun tiga panah melingkar.



Gambar 7.20. Panah Melingkar

Makna penuntun ialah rambu lalu lintas memperlihatkan hadir percabangan berupa bulatan yang mempunyai prioritas (Tips Sahabat Otomotif, 2019).

- b. Penuntun seru (!).



Gambar 7.21. Penuntun Seru

Makna penuntun ialah rambu ini sebagai teguran terhadap pengguna jalan supaya berhati-hati mengikuti lajur khusus (Tips Sahabat Otomotif, 2019).

- c. Penuntun plus (+).



Gambar 7.22. Penuntun Plus

Makna penuntun ialah rambu ini memperlihatkan bakal hadir percabangan empat (Tips Sahabat Otomotif, 2019).

- d. Penuntun plus dihapus unsur kanannya.



Gambar 7.23. Percabangan.

Makna penuntun ialah rambu yang memperlihatkan hadir percabangan tiga bidang dengan satu ke arah kiri (Tips Sahabat Otomotif, 2019).

- e. Penuntun plus dihapus unsur kirinya.



Gambar 7.24. Percabangan.

Makna penuntun ialah rambu yang memperlihatkan hadir percabangan tiga bidang dengan satu ke arah kanan (Tips Sahabat Otomotif, 2019).

- f. Penuntun panah ke atas dan ke bawah.



Gambar 7.25. Dua Arah.

Makna penuntun ialah makna dari rambu ini adalah bahwa lalu lintas yang dilalui berperan dua arah (Tips Sahabat Otomotif, 2019).

4. Rambu Penuntun.

Digunakan untuk memandu pengguna jalan saat melaksanakan perjalanan atau untuk mendapatkan pemberitahuan lain terhadap pengguna jalan (Admin, 2020).

Makna dan gambar rambu penuntun.



Gambar 7.26. Rambu Penuntun dan Maknanya.

Rambu penuntun mempunyai maksud untuk mendapatkan penuntun jalan bagi para pengguna jalan. Rambu penuntun ini mempunyai beragam gambar unik. Sampai menjadi identitas khusus sendiri dan tidak seperti rambu sebelumnya (Tips Sahabat Otomotif, 2019).

Berikut ini penuntun dan gambar rambu lalu lintas penuntun beserta maknanya:

a. Penuntun arah kota di percabangan.



Gambar 7.27. Percabangan.

Makna penuntun ialah rambu ini berguna sebagai pendahulu penuntun haluan ke suatu lokasi yang bakal ditemui di percabangan jalan di depan (Tips Sahabat Otomotif, 2019).

b. Penuntun arah kota.



Gambar 7.28. Haluan.

Makna penuntun ialah rambu ini yakni rambu penuntun arah atau haluan ke suatu daerah (Tips Sahabat Otomotif, 2019).

c. Penuntun jalan tol.



Gambar 7.29. Jalan Tol.

Makna penuntun ialah rambu ini memperlihatkan bahwa pengemudi sebentar lagi bakal mengikuti area jalan tol (Tips Sahabat Otomotif, 2019).

d. Penuntun rumah sakit.



Gambar 7.30. Rumah Sakit.

Makna penuntun ialah rambu ini memperlihatkan penuntun rumah sakit (Tips Sahabat Otomotif, 2019).

- e. Penuntun pompa bensin.



Gambar 7.31. Pompa Bensin

Makna penuntun ialah rambu ini memperlihatkan penuntun keberadaan pompa bensin atau pompa bahan bakar (Tips Sahabat Otomotif, 2019).

- f. Penuntun ranjang/tempat tidur



Gambar 7.32. Ranjang

Makna penuntun ialah rambu ini memperlihatkan penuntun hadir hotel atau motel (Tips Sahabat Otomotif, 2019).

- g. Penuntun orang jalan kaki



Gambar 7.33. Jalan Kaki

Makna penuntun ialah rambu ini memperlihatkan penuntun zona bagi para pedestrian (Tips Sahabat Otomotif, 2019).

h. Penuntun bus



Gambar 7.34. Bus

Makna penuntun ialah rambu ini memperlihatkan penuntun zona berhentinya bus (Tips Sahabat Otomotif, 2019).

5. Papan Aksesoris.

Papan aksesoris digunakan untuk memuat keterangan yang diperlukan untuk menyatakan hanya berperan untuk waktu-waktu khusus, selisih dan berbagai macam alat transportasi khusus atau perihal lainnya sebagai hasil manajemen dan rekayasa lalu lintas (Admin, 2020).

Makna Rambu Papan Aksesoris.

Rambu papan Aksesoris mempunyai identitas khusus tersendiri dan sudah terspetunjukrisasi yang berbeda dengan rambu lalu lintas lainnya.

Rambu papan aksesoris berguna untuk mendapat pemberitahuan aksesoris secara langsung terhadap para pengguna jalan yang tidak diperoleh hanya dari rambu lalu lintas lainnya (Tips Sahabat Otomotif, 2019).



Gambar 7.35. Rambu Papan Aksesoris

Papan aksesoris biasanya mendapatkan pemberitahuan terkait berbagai macam alat transportasi khusus, selisih, waktu berperannya rambu yang ada sampai apapun yang berkaitan dengan manajemen dari rekayasa lalu lintas. Papan aksesoris bakal ditemukan pengemudi di bawah daun rambu (Tips Sahabat Otomotif, 2019).

7.5 Fasilitas Rambu Lalu Lintas

Rambu lalu lintas berdasarkan fasilitasnya, terdiri dari: (Wikipedia Bahasa Indonesia, Ensiklopedia bebas, 2022(a))

1. Rambu Umum

Rambu umum terdiri atas: (Wikipedia Bahasa Indonesia, Ensiklopedia bebas, 2022(a))

a. Daun rambu

Daun rambu adalah pelat alumunium atau bahan lainnya yang memenuhi melakukan teknis zona ditempelkan/dilekatkannya rambu.

Daun rambu bisa berupa:

- 1) Skala kecil,
- 2) Skala sedang,
- 3) Skala besar, atau
- 4) Skala sangat besar.

Masing-masing daun rambu harus dipakaikan simbol perhubungan berupa label di unsur depan sebelah bawah. Label simbol perhubungan diterbitkan oleh direktur Jenderal, gubernur, atau bupati/wali kota sesuai dengan kewenangan.

b. Tiang rambu

Tiang Rambu adalah batangan logam atau bahan lainnya untuk menempelkan atau melekatkan daun rambu.

Tiang rambu bisa berupa:

- 1) Tiang tunggal,
- 2) Tiang huruf f,
- 3) Tiang kupu-kupu dengan tiang tunggal, atau
- 4) Tiang gawang (*gantry*) dengan tiang ganda atau lebih.

2. Rambu bertenaga listrik

a. Fungsi

Rambu bertenaga listrik digunakan untuk pemberitahuan pengendalian lalu lintas berupa teguran, larangan, perintah, dan penuntun (Wikipedia Bahasa Indonesia, Ensiklopedia bebas, 2022(a)).

Selain digunakan sebagaimana ditujukan pada pernyataan di atas, rambu lalu lintas bertenaga listrik bisa digunakan untuk:

- 1) Pemberitahuan perihal lalu lintas.
- 2) Pemberitahuan perihal cuaca.
- 3) Pemberitahuan perbaikan jalan.

4) Kampanye keselamatan lalu lintas dan angkutan jalan.

Rambu Lalu Lintas bertenaga listrik berupa teguran, larangan, perintah, dan penuntun menurut fungsinya terdiri atas:

- 1) Rambu lalu lintas bertenaga listrik yang digunakan untuk menyajikan *piktogram* (gambar) menyerupai rambu lalu lintas umum atau *piktogram* lainnya.
- 2) Rambu lalu lintas bertenaga listrik yang digunakan untuk menyajikan pesan teguran, larangan, perintah, dan penuntun atau pesan lain-lain.
- 3) Rambu lalu lintas bertenaga listrik yang digunakan untuk menyajikan kombinasi tampilan grafis.

b. Ketentuan pemasangan

Rambu lalu lintas berdasarkan pemasangan terdiri atas: (Wikipedia Bahasa Indonesia, Ensiklopedia bebas, 2022(a))

- 1) Rambu lalu lintas bertenaga listrik bisa dipakaikan bersamaan dengan rambu lalu lintas umum.
- 2) Skala, tata cara penempatan, dan spesifikasi teknis rambu lalu lintas bertenaga listrik ditetapkan oleh Direktur Jenderal Perhubungan Darat.

c. Fasilitas rambu

Rambu lalu lintas bertenaga listrik terdiri atas: (Wikipedia Bahasa Indonesia, Ensiklopedia bebas, 2022(a))

- 1) Layar monitor
- 2) Modul kontrol
- 3) Catu daya (rangkaian bertenaga listrik)
- 4) Tiang rambu

d. Rambu lalu lintas

Rambu lalu lintas berdasarkan jenisnya antara lain: (Wikipedia Bahasa Indonesia, Ensiklopedia bebas, 2022(a))

- 1) Rambu Peringatan
- 2) Rambu Larangan

- 3) Rambu Perintah
- 4) Rambu Petunjuk
- 5) Rambu Sementara

7.6 Klasifikasi Rambu Lalu Lintas

1. Berdasarkan cara pemasangan

Berdasarkan cara pemasangan dan sifat pesan yang bakal diberikan maka secara garis besar sistem perambuan bisa diklasifikasikan sebagai berikut: (Wikipedia Bahasa Indonesia, Ensiklopedia bebas, 2022(a))

a. Rambu tetap.

Rambu tetap adalah semua berbagai macam rambu yang ditetapkan berdasarkan Surat Keputusan Menteri Perhubungan yang dipakaikan secara tetap (Wikipedia Bahasa Indonesia, Ensiklopedia bebas, 2022(a)).

b. Rambu sementara.

Rambu sementara adalah rambu yang dipakaikan dan berperan hanya separuh waktu, bisa ditempatkan sewaktu-waktu dan bisa dipindah-pindahkan (Wikipedia Bahasa Indonesia, Ensiklopedia bebas, 2022(a)).

2. Berdasarkan fasilitas rambu

Berdasarkan alat pemasangannya rambu lalu lintas diklasifikasikan sebagai berikut: (Wikipedia Bahasa Indonesia, Ensiklopedia bebas, 2022(a))

a. Rambu umum.

Rambu umum adalah rambu lalu lintas yang berupa rambu dengan bahan yang bisa memantulkan cahaya atau *retro-reflektif* (Wikipedia Bahasa Indonesia, Ensiklopedia bebas, 2022(a)).

b. Rambu bertenaga listrik.

Rambu bertenaga listrik adalah rambu lalu lintas yang berupa rambu yang pemberitahuannya bisa diatur secara

bertenaga listrik (Wikipedia Bahasa Indonesia, Ensiklopedia bebas, 2022(a)).

7.7 Manfaat Rambu Lalu Lintas

Seorang pengguna jalan sebagai pengemudi mobil, sepeda motor, atau pedestrian sudah seharusnya mematuhi masing-masing rambu lalu lintas (Admin, 2020).

Berikut yakni manfaat dari taat berlalu lintas, ialah: (Admin, 2020)

1. Menjaga keselamatan di jalan raya.
2. Menghindari perselisihan dengan sesama pengguna jalan.
3. Menjadi orang yang turut ketentuan peraturan lalu lintas.
4. Terhindar dari musibah lalu lintas.

7.8 Komponen Lalu Lintas



Gambar 7.36. Komponen Sistem Lalu Lintas

(Sumber: UU Nomor 22 Tentang Lalu Lintas dan Angkutan Jalan, Tahun 2009)

Ada 3 (tiga) komponen terjadi sistem lalu lintas ialah manusia sebagai pengguna, menurut ketentuan perundangan lalu lintas yang menetapkan ketentuan lalu lintas diikuti oleh pengemudi mengemudikan alat transportasi dan jalan yang saling berkaitan dalam pergerakan alat transportasi yang memenuhi

melakukan kelayakan, dan jalan yang dilalui angkutan jalan memenuhi melakukan geometrik (Wikipedia Bahasa Indonesia, Ensiklopedia bebas, 2022(b)).

1. Manusia sebagai pengguna.

Melakukan dan kewaspadaan yang berbeda-beda (waktu reaksi, konsentrasi dan lain-lain) yang dimiliki manusia sebagai pengguna bisa berperan sebagai pengemudi atau pedestrian yang dalam keadaan normal (Wikipedia Bahasa Indonesia, Ensiklopedia bebas, 2022(b)).

Keadaan jasmani dan rohani, berbagai macam kelamin dan umur serta dampak luar masih dipengaruhi oleh perbedaan-perbedaan tersebut seperti cuaca, penerangan/lampu jalan dan tata ruang (Wikipedia Bahasa Indonesia, Ensiklopedia bebas, 2022(b)).

2. Alat transportasi.

Pengemudi menggunakan alat transportasi untuk dapat beraksi dalam lalu lintas memiliki sifat yang berkaitan dengan kecepatan, percepatan, perlambatan, dimensi dan muatan yang memerlukan ruang (Wikipedia Bahasa Indonesia, Ensiklopedia bebas, 2022(b)).

3. Jalan.

Alat transportasi bermesin ataupun tidak bermesin terikut pedestrian untuk melalui jalan yakni lintasan yang direncanakan.

Bisa mengurangi nilai musibah lalu-lintas sampai jalan tersebut direncanakan untuk mampu membantu beban muatan sumbu alat transportasi dan meneruskan aliran lalu lintas dengan lancar serta aman (Wikipedia Bahasa Indonesia, Ensiklopedia bebas, 2022(b)).

DAFTAR PUSTAKA

- Admin. 2020. Pengertian Tentang Rambu Lalu Lintas. Dinas Perhubungan Kabupaten Purworejo.
- Anomim. Merancang dan Membangun Aplikasi Pengenalan Rambu Lalu Lintas Menggunakan *Augmented Reality* Pada Sistem Operasi *Android* (Skripsi). Bab 1 Pendahuluan.
- Hartadi, S.W. 2019. Game Edukasi Pengenalan Rambu-Rambu Lalu Lintas Menggunakan Metode *Finite State Machine* (FSM) Berbasis *Android* (Skripsi). Bab 1 Pendahuluan.
- Muzaki, L. 2013. Apa Itu Rambu Lalu Lintas? Dishubkominfo Kab. Indramayu.
- Nurkholiq, F. 2018. Rancang Bangun Aplikasi Multimedia Pembelajaran Pengenalan Rambu Lalu Lintas Berbasis *Android* (Skripsi). Bab 1 Pendahuluan.
- Ramadhan, F. A. 2017. Deteksi Pelanggaran Pada Rambu Larangan Lalu Lintas Dengan Menggunakan *Rule-Based System* dan *Faster R-CNN* (Skripsi). Bab 1 Pendahuluan. UNIKOM.
- Tips Sahabat Otomotif. 2019. Rambu Lalu Lintas: Macam Tanda, Arti, Gambar Lengkap.
- Tribun Pontianak. 2021. Tujuan dan Fungsi Rambu Lalu-Lintas Pengendara Kendaraan Harus Tahu. Editor: Maskartini.
- Undang-Undang No. 22, 2009. Lalu Lintas dan Angkutan Jalan.
- Wikipedia bahasa Indonesia, Ensiklopedia bebas, 2022(a). Lalu lintas. Komponen lalu lintas.
- Wikipedia Bahasa Indonesia, Ensiklopedia bebas, 2022(b). Rambu lalu lintas. *Creative Commons Atribusi*.
- Yunus, A. I. dkk. 2023. Manajemen Transportasi. Moda Transportasi. Cetakan Pertama. Februari 2023. Batam: Yayasan Cendikia Mulia Mandiri.

BAB 8

EVALUASI KINERJA LALU LINTAS

Oleh Fathur Rahman Rustan

8.1 Pendahuluan

Untuk memberikan pelayanan lalu lintas terbaik kepada masyarakat, barang ataupun kendaraan diperlukan suatu pembangunan jalan yang dapat berfungsi dengan baik. Karakteristik lalu lintas yang utama berkaitan dengan perencanaan jalan adalah kendaraan, volume lalu lintas, kecepatan, berat sumbu kendaraan, tingkat pelayanan (kepadatan lalu lintas). Selain itu, kinerja lalu lintas juga menjadi ukuran tentang bagaimana lalu lintas di suatu daerah beroperasi secara efisien dan efektif. Beberapa faktor yang dapat mempengaruhi kinerja lalu lintas antara lain jumlah kendaraan yang melewati suatu area dalam satu waktu, waktu tempuh rata-rata, kecepatan rata-rata, tingkat kemacetan, kapasitas jalan, kepadatan lalu lintas, dan kualitas infrastruktur jalan itu sendiri.

Dalam mengukur kinerja lalu lintas, dapat dilakukan dengan menggunakan teknologi seperti sistem pemantauan lalu lintas, atau dengan melakukan survei manual untuk mengumpulkan data tentang lalu lintas di suatu wilayah. Data yang dihasilkan dapat digunakan untuk memperbaiki atau mengevaluasi kinerja lalu lintas, mengembangkan kebijakan transportasi yang lebih baik, dan meningkatkan efisiensi jalan.

8.2 Kategorisasi Jalan

Penggolongan jalan sangatlah penting dilakukan pada suatu daerah atau wilayah karena jalan merupakan komponen dari sebuah sistem jaringan jalan yang saling berhubungan satu dengan yang lainnya. Penggolongan jalan diuraikan secara umum antara lain :

8.2.1 Penggolongan Menurut Faedah/Manfaat

Berdasarkan UU RI. No. 2 Tahun 2022, manfaat jalan dibedakan menjadi 2 (dua), yaitu :

- a) Jalan Umum, diperuntukkan bagi lalu lintas umum;
- b) Jalan Khusus, dibangun dan dipelihara untuk kepentingan sendiri oleh BUMN, BUMD, badan usaha berbadan hukum maupun tidak berbadan hukum, perseorangan, kelompok masyarakat, dan/atau instansi Pemerintah Pusat dan/atau Pemerintah Daerah selain Penyelenggara Jalan.

8.2.2 Penggolongan Menurut Layanan Jasa Distribusi

Menurut layanan jasa yang diberikan, sistem jaringan jalan dibedakan atas 2 (dua), antara lain :

- a) Sistem jaringan jalan primer, memberikan layanan distribusi barang dan jasa yang menghubungkan pusat-pusat kegiatan dan umumnya berada tingkat nasional.
- b) Sistem jaringan jalan sekunder, memberikan layanan pendistribusian barang dan jasa antara simpul-simpul jasa di dalam wilayah setempat (kota/lokal).

8.2.3 Penggolongan Menurut Peranan

Menurut peranannya, jalan dikategorikan atas :

- a) Jalan arteri, melayani angkutan perjalanan jarak jauh, kecepatan rata-rata tinggi, dengan jumlah jalan masuk dibatasi secara efisien.
- b) Jalan kolektor, melayani angkutan pengumpul dengan perjalanan jarak dan kecepatan rata-rata sedang, dengan jumlah jalan masuk dibatasi.

- c) Jalan lokal, jumlah jalan masuk tidak dibatasi, melayani angkutan setempat dengan jarak dekat dan kecepatan rata-rata kendaraan rendah.
- d) Jalan lingkungan, melayani angkutan lingkungan (jarak dekat dan kecepatan rendah).

8.2.4 Penggolongan Menurut Status dan Kewenangan Pengelolaan

Menurut UU RI. No. 2 Tahun 2022 tentang Jalan, status jalan dibedakan menjadi 5 (lima) macam diantaranya :

- a) Jalan nasional, menghubungkan antar ibukota provinsi/jalan strategis nasional.
- b) Jalan provinsi, menghubungkan antar ibukota kabupaten/kota.
- c) Jalan kabupaten, menghubungkan ibukota kabupaten dengan ibukota kecamatan.
- d) Jalan kota, menghubungkan antar pusat permukiman yang berada di dalam suatu wilayah (kota).
- e) Jalan desa, menghubungkan antar kawasan di dalam desa, serta jalan lingkungan.

Sedangkan menurut kewenangan pengelolaannya dibedakan menjadi 3 (tiga), yaitu :

- a) Jalan nasional dikelola oleh Kementerian Pusat;
- b) Jalan daerah, meliputi:
 - 1) Jalan provinsi dibawah pengelolaan Pemerintah Provinsi;
 - 2) Jalan kabupaten/kota dikelola oleh Pemerintah Kabupaten/Kota;
 - 3) Jalan desa dikelola Pemerintah Desa/Kelurahan.
- c) Jalan khusus, pejabat atau orang yang ditunjuk.

8.2.5 Penggolongan Menurut Standar Perencanaan Jalan

Menurut Binkot (1990), jalan dibagi atas beberapa tipe kelas jalan diantaranya:

- Type I:** Kelas I ➡ Arteri primer ($V_{\text{renc.}} = 80 - 100 \text{ km/jam}$)
Kelas II ➡ Kolektor primer ($V_{\text{renc.}} = 60 - 80 \text{ km/jam}$)
- Type II:** Kelas I ➡ Arteri sekunder ($V_{\text{renc.}} = 60 \text{ km/jam}$)
Kelas II ➡ Kolektor primer ($V_{\text{renc.}} = 50 - 60 \text{ km/jam}$)
Kelas III ➡ Kolektor sekunder ($V_{\text{renc.}} = 30 - 40 \text{ km/jam}$)
Kelas IV ➡ Lokal sekunder ($V_{\text{renc.}} = 20 - 30 \text{ km/jam}$)

8.3 Keterkaitan Antara Kecepatan, Volume, dan Kepadatan Lalu Lintas

Teori pergerakan lalu lintas memegang peranan yang sangat penting dalam perencanaan, perancangan dan penentuan kebijakan sistem lalu lintas. Kapasitas untuk menampung arus lalu lintas sangat tergantung pada kondisi fisik jalan, baik kualitas maupun kuantitas, serta karakteristik operasi lalu lintas.

Teori pergerakan arus lalu lintas dapat menjelaskan kualitas dan kuantitas arus lalu lintas, sehingga dapat diterapkan untuk membuat suatu kebijakan atau memilih sistem lalu lintas yang paling sesuai dengan lalu lintas yang ada. Peningkatan volume lalu lintas akan menyebabkan perubahan perilaku lalu lintas ruas jalan. Salah satu cara untuk memahami perilaku lalu lintas adalah dengan menggambarannya dalam bentuk hubungan matematis dan grafis.

Dalam rekayasa lalu lintas, kita belajar bahwa untuk mempelajari suatu arus lalu lintas, ada tiga variabel keputusan utama, yaitu volume, kecepatan (*speed*) dan kerapatan (*density*). Secara teoritis, ada hubungan mendasar antara ketiga variabel ini.

Dalam prakteknya, hubungan antara U (kecepatan) dan V (volume) lalu lintas digunakan untuk berbagai keperluan dalam perencanaan, pengelolaan dan pengembangan kebijakan bidang

transportasi, misalnya sebagai pedoman untuk menentukan nilai matematis kapasitas jalan pada kondisi ideal.

Dalam arus lalu lintas pada suatu ruas jalan terdapat 3 (tiga) variabel utama yang digunakan untuk mencirikan arus lalu lintas, yaitu sebagai berikut:

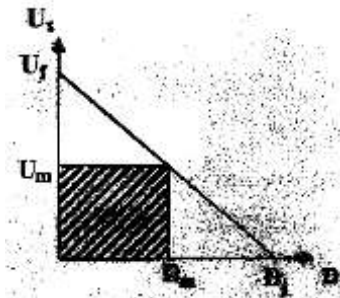
- a) Volume (V), didefinisikan sebagai jumlah kendaraan yang melewati titik pemeriksaan di suatu ruas jalan per satuan waktu. Satuan yang biasa digunakan adalah kendaraan/jam atau kendaraan/hari.
- b) Kecepatan (U), yaitu jarak yang dapat ditempuh kendaraan di suatu ruas jalan per satuan waktu. Satuannya adalah km/jam atau m/s.
- c) Kepadatan (D), adalah jumlah kendaraan di jalan per satuan panjang dalam jangka waktu tertentu. Satuan yang biasa digunakan adalah kendaraan/km.

Persamaan 8.1 merupakan persamaan umum yang lazim digunakan dalam menggambarkan kondisi suatu arus lalu lintas.

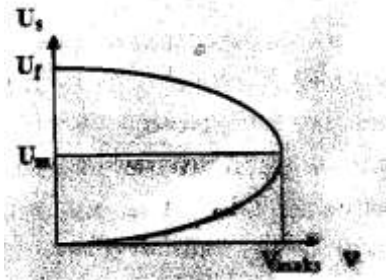
$$V = D \cdot U_s \quad (8.1)$$

dimana : U_s = Kecepatan rerata kendaraan (km/jam)
 V = Volume Lalu Lintas (kendaraan/jam)
 D = Kepadatan arus lalu lintas (kendaraan/km)

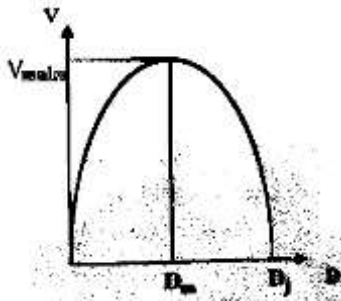
Hubungan antara kecepatan (U), volume (V), dan kepadatan (D) dapat digambarkan secara grafik sebagaimana diperlihatkan pada Gambar 8.1.



(a) Kecepatan vs Kepadatan



(b) Kecepatan vs Volume



(c) Volume vs Kepadatan

Gambar 8.1. Grafik Hubungan Antara Kecepatan, Volume, dan Kepadatan Arus Lalu Lintas
(Sumber : Suwardo, 2016)

Dalam menganalisis hubungan antara kecepatan, volume, dan arus lalu lintas dapat dilakukan melalui 5 (lima) model pendekatan:

- (a) Manual Kapasitas Jalan Indonesia (MKJI) 1997 dan Pedoman Kapasitas Jalan Indonesia (PKJI) 2014; MKJI adalah buku pedoman yang digunakan untuk menghitung kapasitas jalan raya di Indonesia. Buku ini memberikan panduan tentang pengukuran volume lalu lintas, kepadatan lalu lintas, dan kapasitas jalan raya, serta

memberikan tabel dan rumus untuk menghitung kapasitas jalan. PKJI adalah buku pedoman yang digunakan oleh para perencana jalan raya di Indonesia. Buku ini memberikan panduan tentang perencanaan geometrik jalan, termasuk lebar jalan, radius lengkung, kemiringan jalan, dan penggunaan median.

(b) Model Linier Greenshields;

Greenshield Model adalah salah satu model matematika yang digunakan dalam analisis kinerja lalu lintas. Model ini dikembangkan oleh Herman Greenshields pada tahun 1935 dan digunakan untuk memprediksi kecepatan kendaraan dan kepadatan lalu lintas di jalan raya. Model ini didasarkan pada hubungan antara kecepatan dan kepadatan bersifat linier yang artinya bahwa kecepatan kendaraan akan berkurang ketika kepadatan lalu lintas meningkat. Model ini juga telah dimodifikasi untuk memperhitungkan pengaruh faktor-faktor lain seperti waktu tempuh dan biaya operasional kendaraan. Model Greenshield telah digunakan secara luas dalam perencanaan jalan raya dan masih menjadi salah satu model yang paling sering digunakan saat ini.

(c) Model Logaritmik Greenberg;

Model ini dikembangkan oleh Greenberg (1959). Hasil pemodelan ini diperoleh dengan asumsi bahwa arus lalu lintas memiliki kesamaan dengan arus fluida. Analisis dilakukan menghubungkan antara kecepatan dan kepadatan menggunakan persamaan kontinuitas dari sebuah benda cair yang bergerak.

(d) Model Eksponensial Underwood.

Model dikembangkan oleh Underwood yang mengungkapkan sebuah hipotesis penelitian bahwa hubungan antara kecepatan dan kepadatan merupakan sebuah fungsi eksponensial.

8.4 Perhitungan Evaluasi Kinerja Lalu Lintas

Analisis kinerja lalu lintas adalah suatu proses pengukuran dan evaluasi kinerja jalan raya, termasuk segala faktor yang mempengaruhi mobilitas dan produktivitas jalan raya, seperti kepadatan lalu lintas, volume lalu lintas, waktu tempuh, kecepatan rata-rata, dan biaya waktu. Tujuan dari analisis kinerja lalu lintas adalah untuk menentukan kondisi jalan raya saat ini dan membuat rekomendasi perbaikan jika diperlukan.

Terdapat beberapa faktor yang harus diperhatikan dalam analisis kinerja lalu lintas diantaranya:

- a) Volume lalu lintas. Volume lalu lintas mengacu pada jumlah kendaraan yang melewati suatu titik pada waktu tertentu. Pengukuran volume lalu lintas sangat penting untuk menentukan kepadatan lalu lintas dan kapasitas jalan.
- b) V/C Ratio (*Volume to Capacity Ratio*), rasio antara jumlah kendaraan yang melewati suatu area dalam satu waktu dengan kapasitas maksimum jalan di area tersebut.
- c) Kepadatan lalu lintas (jumlah kendaraan yang melewati suatu area dalam satu waktu), mengacu pada jumlah kendaraan yang ada pada satu waktu tertentu di suatu segmen jalan. Kepadatan lalu lintas yang tinggi dapat menyebabkan kemacetan lalu lintas dan mempengaruhi kecepatan kendaraan.
- d) Waktu tempuh rata-rata, waktu yang diperlukan untuk melewati suatu jarak tertentu di jalan. Waktu tempuh mengacu pada waktu yang diperlukan oleh kendaraan untuk menyelesaikan perjalanan antara dua titik. Pengukuran waktu tempuh dapat membantu menentukan tingkat kinerja jalan raya dan memberikan indikasi tentang keefektifan jaringan jalan.

- e) Kecepatan rata-rata (kecepatan kendaraan dalam perjalanan di jalan), mengacu pada kecepatan kendaraan pada suatu segmen jalan selama periode waktu tertentu. Kecepatan rata-rata yang rendah dapat menunjukkan adanya kemacetan lalu lintas dan ketidakmampuan jalan untuk menangani volume lalu lintas yang tinggi.
- f) Tingkat kemacetan, tingkat kepadatan kendaraan pada suatu area.
- g) Biaya waktu, mengacu pada biaya yang harus dikeluarkan oleh pengguna jalan untuk menyelesaikan perjalanan. Biaya waktu terdiri dari biaya waktu yang dihabiskan untuk menyelesaikan perjalanan dan biaya operasional kendaraan.
- h) Kualitas infrastruktur jalan, seperti kondisi jalan, pencahayaan, tanda-tanda, dan fasilitas lain yang dapat mempengaruhi kenyamanan dan keamanan berkendara.

Berikut akan dijelaskan secara umum, beberapa model pendekatan analisis kinerja lalu lintas yang umum digunakan:

- a) Metode *Level of Service* (LOS)
Metode ini digunakan untuk mengukur kinerja jalan dengan memperhitungkan jumlah volume lalu lintas, kecepatan, kepadatan, dan waktu perjalanan. LOS ini dibagi menjadi enam tingkat, yaitu A hingga F, dengan kinerja terbaik pada level A dan kinerja terburuk pada level F.
- b) Metode *Volume/Capacity Ratio* (VCR)
Metode ini mengukur kinerja jalan dengan membandingkan volume lalu lintas aktual dengan kapasitas jalan. Jika VCR melebihi nilai 1, maka jalan dianggap *overload* atau kelebihan kapasitas, sedangkan jika VCR kurang dari 1, maka jalan dianggap memiliki

kapasitas yang cukup. Tabel 8.1 menampilkan tipe dan deskripsi tingkat pelayanan jalan.

c) Metode Harga Waktu (*Time Cost Method*)

Metode ini menghitung biaya waktu perjalanan dan biaya operasional kendaraan untuk menentukan kinerja jalan. Biaya waktu perjalanan dihitung berdasarkan waktu yang dihabiskan untuk menyelesaikan perjalanan, sedangkan biaya operasional kendaraan meliputi bahan bakar, perawatan, dan penggantian komponen kendaraan.

d) Metode *Link-Based*

Metode ini memperhitungkan kinerja jalan pada setiap ruas jalan dan simpang yang dilalui oleh kendaraan. Metode ini dapat memberikan informasi detail tentang kinerja jalan pada setiap segmen jalan.

e) Metode *Intersection-Based*

Metode ini memfokuskan analisis pada simpang jalan dan mengukur kinerja simpang dengan memperhitungkan waktu tundaan, kepadatan, dan laju kendaraan. Metode ini berguna untuk menentukan kinerja simpang dan mengevaluasi pengaruh tambahan simpang, perubahan geometrik simpang, atau sistem kontrol lalu lintas baru pada kinerja simpang yang ada.

Tabel 8.1. Tipe dan Deskripsi Tingkat Pelayanan Jalan

Tipe	Deskripsi Kondisi Jalan	% <i>Free Flow Speed</i>	Derajat Kejenuhan
Tipe A	a. Arus lalu lintas bebas tanpa hambatan b. Volume dan kepadatan lalu lintas rendah c. Kecepatan kendaraan merupakan pilihan pengemudi	≥ 90	$\leq 0,35$
Tipe B	a. Arus lalu lintas stabil b. Kecepatan mulai dipengaruhi oleh keadaan lalu lintas, tetapi tetap dapat dipilih sesuai kehendak pengemudi	≥ 70	$\leq 0,54$
Tipe C	a. Arus lalu lintas masih stabil b. Kecepatan perjalanan dan kebebasan bergerak sudah dipengaruhi oleh besarnya volume lalu lintas sehingga pengemudi tidak dapat lagi memilih kecepatan yang diinginkannya	≥ 50	$\leq 0,77$
Tipe D	a. Arus lalu lintas sudah mulai tidak stabil b. Perubahan volume lalu lintas sangat mempengaruhi besarnya kecepatan perjalanan	≥ 40	$\leq 0,93$
Tipe E	a. Arus lalu lintas sudah tidak stabil b. Volume kira-kira sama dengan kapasitas c. Sering terjadi kemacetan	≥ 33	$\leq 1,0$
Tipe F	a. Arus lalu lintas tertahan pada kecepatan rendah b. Sering kali terjadi kemacetan c. Arus lalu lintas rendah	< 33	$> 1,0$

Sumber: Sukirman (1999)

Semua model pendekatan di atas memiliki kelebihan dan kekurangan masing-masing. Pemilihan metode yang tepat tergantung pada tujuan analisis yang jadi objek permasalahan, karakteristik jalan dan kendaraan, serta data yang tersedia.

DAFTAR PUSTAKA

- American Association of State Highways and Transportation Official (AASHTO). 1994. *A Policy on Geometric Design of Highway and Streets*. Washington D.C.
- Binkot. 1990. *Peraturan Tentang Klasifikasi Jalan*. Jakarta: Dit. Bina Jalan Kota, Direktorat Jenderal Bina Marga, Departemen Pekerjaan Umum.
- Sukirman, S. 1999. *Dasar-Dasar Perencanaan Geometrik Jalan*. Bandung: Penerbit NOVA.
- Suwardo, & Haryanto, I. 2016. *Perancangan Geometrik Jalan Standar dan Dasar-Dasar Perancangan*. Yogyakarta: Gadjah Mada University Press.
- Undang-Undang RI. 2022. *Undang-Undang Republik Indonesia Nomor 2 Tahun 2022 Perubahan Kedua Atas Undang-Undang Nomor 38 Tahun 2004 Tentang Jalan*. Jakarta: Lembar negara Republik Indonesia.

BAB 9

REKAYASA LALU LINTAS

Oleh Rachmat Hidayat Dairi

9.1 Pendahuluan

Rekayasa lalu lintas adalah salah satu cabang ilmu teknik sipil yang digunakan untuk membangun atau merekayasa suatu system transportasi yang efektif, efisien, aman dan nyaman dengan membangun dan mengoperasikan lalu lintas dan bagian-bagian jalan.

Lima komponen penting yang membentuk praktek teknik lalu lintas adalah:

1. Studi Karakteristik Lalulintas
 - a. Faktor Manusia dan Kendaraan
 - b. Variabel yang berkaitan dengan parkir dan terminal;
 - c. Faktor-faktor yang berhubungan dengan aliran lalu lintas;
 - d. Pola perjalanan; faktor pertumbuhan;
 - e. Faktor yang berhubungan dengan volume lalu lintas, kecepatan, dan volume.
 - f. penggunaan fasilitas pelayanan.
 - g. Analisis kecelakaan lalu lintas
2. Perencanaan Transportasi meliputi
 - a. Studi Transportasi Regional
 - b. Perencanaan jangka panjang untuk jaringan jalan, sistem transportasi umum, terminal, dan tempat parker
 - c. Perencanaan khusus untuk pertumbuhan, peningkatan, atau redistribusi lalu lintas
 - d. Penelitian Efek Lingkungan
 - e. Studi Faktor Sistem Transportasi dan Perilaku Pengguna Jalan di Sistem Lalu Lintas

3. Perencanaan Geometrik Jalan

Berikut adalah beberapa contoh bagaimana teknik lalu lintas diterapkan pada perencanaan jalan geometris:

- a. Perencanaan jalan baru, yang mencakup perencanaan garis horizontal, vertikal, fleksibilitas, kemiringan, dan persimpangan jalan serta jumlah kendaraan yang direncanakan untuk melewati serta kecepatan rencana, dijadwalkan pada analisis teknik lalu lintas.
- b. Memperbaiki persimpangan dan jalan yang menua untuk meningkatkan lalu lintas dan keamanan.
- c. Tempat parkir dan terminal
- d. Standar Jalan Raya

4. Operasi lalulintas

Otoritas yang berwenang melakukan operasi lalu lintas dengan menggunakan peralatan pengendalian lalu-lintas sesuai dengan peraturan dan peraturan lainnya. Metode aplikasi termasuk::

1. Peraturan Perundang-undangan
2. Alat-alat kontrol
3. Standar dan ketentuan

5. Administrasi

Ada berbagai administrasi yang diperlukan untuk mencapai tujuan teknik lalu lintas, termasuk:

- a. izin untuk melakukan tindakan yang melibatkan pengaturan lalu lintas. Kantor pelaksana harian
- b. Hubungan antar instansi terkait
- c. manajemen lanjutan yang mengawasi keuangan dan persyaratan staf untuk perubahan administratif atau organisasi.

9.2 Komponen Lalu Lintas

9.2.1 Komponen sistem lalu lintas.

Manusia selaku pengguna, kendaraan, dan jalan berinteraksi dalam pergerakan kendaraan yang memenuhi standar kualifikasi. Pengemudi kendaraan ini mengangkut melalui jalan-jalan yang memenuhi persyaratan geometris dan mematuhi peraturan lalu lintas yang ditetapkan atas dasar undang-undang lalu-lintas jalan., adalah tiga elemen yang membentuk terjadinya lalu lintas.



Gambar 9.1. Komponen Lalu Lintas
(Sumber : Rekayasa Lalu Lintas, Ir. Leksmono)

9.2.2 Manusia sebagai pengguna,

Orang dapat menggunakan kendaraan atau berjalan kaki, dan masing-masing peran ini memerlukan serangkaian keterampilan dan tingkat perhatian tertentu saat keadaan normal (waktu reaksi, konsentrasi, dll.). Faktor fisik dan psikologis, usia dan jenis kelamin, serta faktor lingkungan seperti cuaca, penerangan dari lampu jalan, dan tata ruang, terus berdampak pada variasi tersebut.

9.2.3 Kendaraan

Ciri-ciri kendaraan yang digunakan pengemudi dalam berlalu lintas meliputi kecepatan, percepatan, perlambatan, ukuran, dan muatan yang memerlukan ruang untuk diatur.

9.2.4 Jalan

Ini ditujukan untuk kendaraan bermotor dan tidak bertenaga, termasuk pejalan kaki, untuk melewati rute tersebut. Untuk mengurangi jumlah kecelakaan lalu lintas, jalan dirancang untuk menopang bobot as roda mobil, arus lalu lintas lancar, dan aman.

9.3 Karakteristik Lalu Lintas

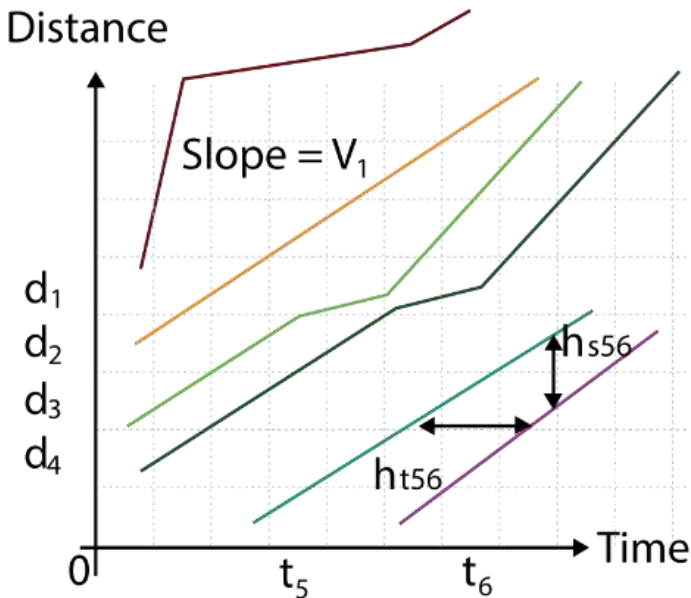
Tiga komponen, yaitu unsur manusia (seperti pengemudi dan pejalan kaki), faktor kendaraan, dan faktor jalan, mempengaruhi karakteristik arus lalu lintas. Untuk setiap situasi non-stop, variabel-variabel ini menyebabkan perbedaan dalam pertumbuhan lalu lintas, yang mengharuskan adanya persyaratan batas yang mungkin menandakan keadaan segmen jalan atau berfungsi sebagai pembenaran untuk organisasi.

Interaksi antara pengemudi, mobil, dan jalan saat lalu lintas sangat menarik. Bahkan dalam keadaan yang identik, arus lalu lintas biasanya tidak sama, oleh karena itu arus pada bagian tertentu biasanya bervariasi. Sehingga diperlukan batas-batas yang dapat menunjukkan kondisi jalan atau yang akan digunakan untuk rencana tersebut.

9.3.1 Diagram Ruang Waktu

Pakar lalu lintas memanfaatkan grafik ruang-waktu untuk menggambarkan lokasi kendaraan pada saat tertentu. Grafik dua lapis yang menunjukkan cara kendaraan bergerak melalui ruang-waktu dari awal tertentu ke tujuan tertentu disajikan. Karena variasi dalam kecepatan, perilaku pengemudi, dan kualitas kendaraan, grafik tersebut menggambarkan

kualitas yang tidak seragam dari setiap kendaraan dari sekelompok mobil.



Gambar 9.2. Diagram Ruang Waktu
(Sumber : National Transportation Operations Coalition)

Pencitraan ruang-waktu sering digunakan dalam penyiapan perangkat APILL (Traffic Light Control Tool), yaitu untuk mengatur antara konvergensi untuk membingkai gelombang hijau guna meningkatkan efisiensi organisasi jalan raya metropolitan.

9.3.2 Arus dan kepadatan

Arus (q) = banyaknya mobil melewati suatu tempat dalam jangka waktu tertentu (kendaraan per jam).

$$q = \frac{3600N}{t_{measured}}$$

Kepadatan (konsentrasi) (k) = banyaknya kendaraan (N) per satuan panjang jalan (L) (kendaraan per kilometer).

$$k = \frac{N}{L}$$

Dimana :

N = banyaknya kendaraan melalui titik tertentu di jalan dalam $t_{measured}$

q = arus dalam satu jam

L = panjang jalan

k = kepadatan/density

9.3.3 Kecepatan

Menghitung kecepatan lalu lintas tidak semudah yang Anda pikirkan. Tergantung pada bagaimana kami menilai kecepatan kendaraan – dalam waktu atau ruang – hasilnya mungkin sedikit berbeda. Kecepatan rata-rata waktu ($\bar{v}_t$) = Rata-rata aritmatika kecepatan kendaraan yang lewat suatu titik:

$$\bar{v}_t = \frac{1}{N} \sum_{n=1}^N v_n$$

1. Kecepatan rata-rata ruang/Space mean speed

Rata-rata harmoni dari kecepatan suatu titik selama periode waktu disebut sebagai kecepatannya rata-rata ruang. $\bar{v}_s$ Selain itu, setara dengan kecepatan rata-rata untuk bagian jalan tertentu.

$$\bar{v}_t = \frac{N}{\sum_{n=1}^N \frac{1}{v_n}}$$

2. Hubungan antara kecepatan ruang dan waktu rata-rata

kecepatan waktu-normal adalah kecepatan tipikal melalui suatu titik yang tidak persis sama dengan kecepatan ruang-

normal yang artinya kecepatan yang merupakan kecepatan tipikal sepanjang a.

Dua kecepatan yang terkait sebagai;

$$\bar{v}_t = \bar{v}_s + \frac{\sigma_s^2}{\bar{v}_s}$$

Sebagai aturan praktis kecepatan rata-rata waktu yang berarti sekitar 2% lebih besar dari kecepatan rata-rata ruang berarti yaitu kecepatan

$$\bar{v}_t \approx 1.02 \bar{v}_s$$

Dimana:

$\bar{v}_t$ = kecepatan rata-rata waktu

$\bar{v}_s$ = kecepatan rata-rata ruang

$\bar{v}_f$ = arus bebas (kecepatan pada saat tidak macet)

9.3.4 Headway

1. Jarak antara

Jarak antara (h_s) = perbedaan dalam m dalam pemisahan antara bagian depan satu mobil dan kendaraan berikutnya.

Jarak antara rata-rata ($\bar{h}_s$) = Jarak antara rata-rata * Waktu antara rata-rata

$$(h_s) = (v_s) * (h_t)$$

Berikut ini adalah hubungan antara kepadatan dan jarak:

$$k = \frac{1}{\bar{h}_s}$$

2. Waktu antara

Waktu antara (h_t) = Jumlah waktu, dalam detik, antara depan kendaraan yang melewati tempat tertentu dan kedatangan depan kendaraan berikutnya..

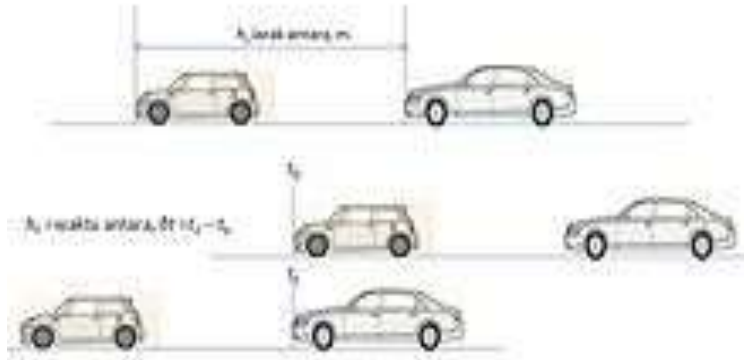
Waktu antara rata-rata ($\bar{h}_t$) = Perbedaan antara rata-rata adalah waktu perjalanan rata-ratanya untuk unit waktu tertentu.

$$(\bar{h}_t) = \bar{t} * (h_s)$$

Dimana:

$h_{t,nm}$ = Waktu antara kendaraan n dan m

$h_{t,nm}$ = Jarak antara kendaraan n dan m



Gambar 9.3. Jarak Antara Dan Waktu Antara
(Sumber : *Traffic Control Systems Handbook*)

9.4 Hubungan Arus dengan Kecepatan dan Kepadatan

Menurut rumus berikut, variabel saat ini, kepadatan lalu lintas, dan kecepatan terkait:

$$q = k\bar{v}_s$$

Grafik berikut menunjukkan hubungan antara ukuran aliran/volume lalu lintas dengan kecepatan (dalam contoh ini, kecepatannya per detik), dan kepadatan lalu Lintas:

1. Karena kecepatan dan kepadatan berkorelasi sebaliknya, maka jumlah mobil yang dihasilkan per kilometer menurun seiring dengan meningkatnya kecepatannya.
2. Rasio kecepatan dan arus adalah parabolik yang menunjukkan bahwa semakin tinggi kecepatannya akan berkurang sampai titik yang merupakan puncak parabola

mencapai batas maka kelajuan akan lebih rendah dan terus-menerus juga akan lebih kecil.

3. Kepadatan berkelanjutan akan meningkat sampai batas, di mana koneksi antara arus dan kepadatan sama-sama parabolik; namun, seiring dengan meningkatnya kepadatan, yang berlanjut akan menurun.

9.5 Satuan Mobil Penumpang

Volume adalah jumlah total mobil yang melakukan perjalanan melalui suatu lokasi dari waktu ke waktu. Sebagian besar kendaraan pada suatu ruas jalan memiliki komposisi yang berbeda-beda, sehingga lebih praktis untuk mendefinisikan volume lalu lintas dalam bentuk jenis kendaraan tertentu, seperti mobil penumpang, dan ini dikenal sebagai satuan mobil penumpang (smp). Mobil penumpang adalah elemen yang menentukan dalam transformasi berbagai jenis kendaraan menjadi mobil penumpang. (setara dengan mobil penumpang).

1. Besaran SMP

Saat mobil penumpang berada di daerah perkotaan, di jalan raya, di persimpangan, atau di tempat lain, ukuran unit berubah. Tabel berikut yang disusun dengan menggunakan data dari sejumlah sumber, antara lain Buku Pedoman Kapasitas Jalan Indonesia, menampilkan satuan mobil penumpang yang sering digunakan di Indonesia:

Tabel 9.1. Satuan Mobil Penumpang

Jenis kendaraan	Jalan raya	Perkotaan
Mobil penumpang, taxi, pickup, minibus	1	1
Sepeda motor	0,5 - 1	0,2 - 0,5
Bus, truk 2 dan 3 sumbu	3	2
Bus tempel, truk > 3 sumbu	4	3

(Sumber : *Pengantar teknik dan perencanaan transportasi*, Morlock, 1998)

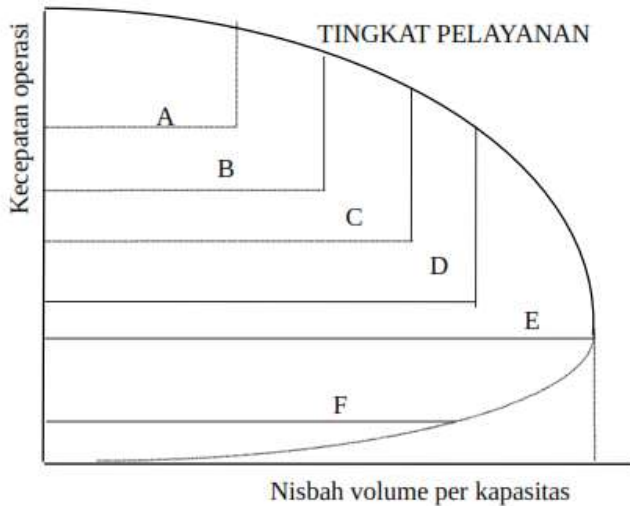
9.6 Tingkat pelayanan jalan

Tingkat pelayanan jalan yang sering disebut dengan LOS (*Level Of Service*) merupakan salah satu teknik yang digunakan untuk mengevaluasi kinerja jalan dan digunakan sebagai indikator kemacetan. Kapasitas jalan (C), yang dapat dihitung dengan mengetahui kapasitas dasar, faktor penyesuaian jalan, faktor penyesuaian pemisahan arah, faktor penyesuaian hambatan samping, dan faktor penyesuaian ukuran kota, diperlukan untuk menentukan apakah sebuah jalan macet. Yang dimaksud dengan kapasitas jalan (C) adalah jumlah maksimum kendaraan yang dapat ditampung pada suatu ruas jalan dalam keadaan tertentu (MKJI, 1997).

Volume, yang sering dinyatakan dalam satuan mobil per waktu, adalah jumlah kendaraan yang melewati suatu tempat pada suatu jalur dalam satuan waktu (Morlock, 1998). Satuan mobil penumpang adalah ukuran volume lalu lintas (Q) (SMP).

9.6.1 Tingkat Pelayanan Tergantung Arus (*Flow Dependent*)

Ini ada hubungan seberapa cepat jalan beroperasi atau memiliki fasilitas, yang didasarkan pada rasio arus terhadap kapasitas. Akibatnya, volume lalu lintas mempengaruhi tingkat layanan pada suatu rute. Terdapat 6 (enam) tingkat layanan (*level of service*) pada level yang saat ini tergantung, antara lain:



Gambar 9.4. Pelayanan Jalan

(Sumber : Perencanaan dan Pemodelan Transportasi, Tamin O. Z, 2003)

1. Tingkat layanan A. (Aliran Bebas)

Aliran bebas dapat dilihat di LOS A. Beberapa faktor yang mempengaruhi arus lalu lintas tidak banyak berdampak pada pengguna jalan. kebebasan untuk pergi dengan kecepatan yang dipilih dan melalui arus lalu lintas yang padat. Standar kenyamanan dan keandalan yang diminta oleh pengemudi dan penumpang sangat tinggi. Salah satu persyaratan untuk tingkat layanan A adalah:

- a. Gerakan tanpa hambatan dengan lalu lintas ringan dan kecepatan cepat;
- b. Volume lalu lintas yang relatif rendah yang bergerak dengan kecepatan yang dapat diatur oleh pengemudi tergantung pada pembatasan kecepatan maksimum dan minimum yang dipasang dan keadaan fisik jalan;

- c. Pengemudi dapat terus bergerak dengan kecepatan yang ditentukan tanpa penundaan.
2. Tingkat Layanan B. (Aliran Stabil – Desain Jalan Pedesaan)
Meskipun LOS B mengalami arus lalu lintas yang stabil, pengguna tambahan mulai diperhatikan. Dibandingkan dengan LOS A, kebebasan untuk menentukan kecepatan agak dibatasi, namun ada pengurangan dalam pergerakan di lalu lintas. Ketika keberadaan faktor lain dalam arus lalu lintas mulai berdampak pada orang, tingkat kenyamanan dan keandalan juga agak lebih rendah daripada LOS. Tingkat layanan A dapat dikondisikan sebagai:
 - a. Arus yang konsisten dengan volume lalu lintas sedang, dengan kecepatan awal dibatasi oleh kondisi lalu lintas;
 - b. Hambatan lalu lintas internal yang disebabkan oleh arus lalu lintas yang rendah tidak berdampak pada kecepatan;
 - c. Pengemudi masih memiliki keleluasaan yang cukup atas kecepatan dan jalur jalan yang digunakannya.
 3. Tingkat Layanan C. (Aliran Stabil – Desain Jalan Perkotaan)
Dimulainya aktivitas pengguna dipengaruhi oleh hubungan lain pada arus lalu lintas adalah yang membedakan LOS C, yang berada dalam interval arus konstan. Setiap pengguna harus waspada saat memilih kecepatan mereka pada arus lalu lintas. Di LOS C, tingkat kenyamanan dan keandalan sering menurun. Tingkat layanan dapat dikondisikan, misalnya, ketika:
 - a. Alirannya stabil tetapi volume lalu lintasnya lebih besar;
 - b. Ada lebih banyak hambatan lalu lintas internal; atau
 - c. Pengemudi memiliki lebih sedikit pilihan untuk kecepatan, perubahan jalur, atau bergerak maju.
 4. Tingkat Layanan D. (Aliran Tak Stabil – Pendekatan)
Arus yang diwakili oleh LOS D kuat namun stabil. Tingkat kenyamanan dan keandalan pengalaman berkendara biasanya

rendah, dan kecepatan serta kebebasan bergerak dibatasi secara sewenang-wenang. Masalah operasional di LOS D biasanya disebabkan oleh peningkatan kecil dalam volume lalu lintas. Dimungkinkan untuk mengkondisikan tingkat layanan D sebagai

- a. Arus mendekati tidak stabil dengan volume lalu lintas yang tinggi, dan sementara kecepatan masih ditoleransi, perubahan kondisi saat ini memiliki dampak yang signifikan padanya.
 - b. Ada aliran lalu lintas moderat, tetapi perubahan volume lalu-lintas dan hambatan sementara dapat menyebabkan penurunan kecepatan yang signifikan.
 - c. Kenyamanan yang rendah dan kebebasan mengemudi yang sangat sedikit bagi pengemudi tetap dapat ditoleransi untuk waktu yang singkat.
5. Tingkat Layanan E. (Aliran Tidak Stabil – Beberapa Berhenti dan Mulai)

Kondisi operasi yang berada di atau dekat kapasitas diwakili oleh LOS E. Ada sedikit, relatif merata penurunan kecepatan. Sangat sulit untuk berjalan bebas melalui persimpangan, dan seringkali, menggerakkan kendaraan dilakukan dengan cara yang memaksa mobil bergerak lainnya untuk menyerah. Kurangnya kenyamanan dan keandalan membuat sebagian besar pengemudi biasanya frustrasi. Operasional LOS E sering tidak stabil karena bahkan peningkatan kecil atau berhenti dalam arus dapat menyebabkan masalah dengan seluruh arus. Tingkat E dijelaskan sebagai:

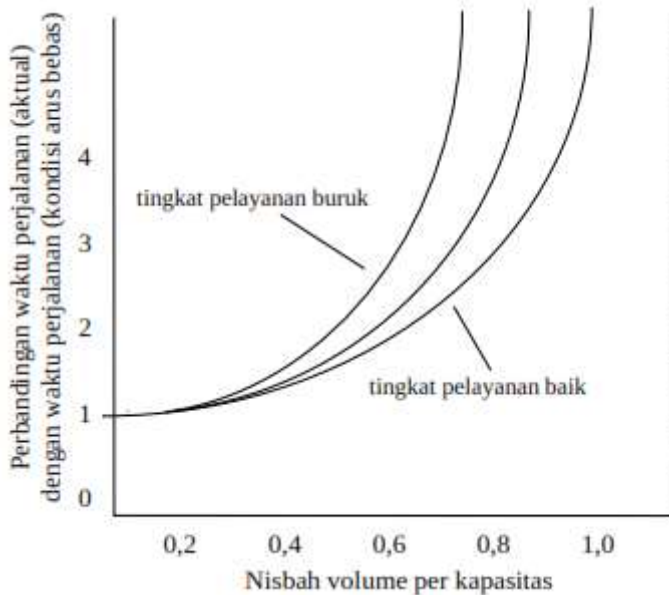
- a. Kepadatan lalu lintas dekat dengan kemampuan jalan, kecepatan sangat rendah, dan arus berada di bawah tingkat layanan D.
- b. Penghalang lalu lintas internal yang kuat juga berkontribusi pada aliran lalu-lintas yang berat.
- c. Mobil mulai mengalami kemacetan sementara.

6. Tingkat Layanan F. (Aliran Paksa – Berhenti, Antrian, Kemacetan)

Aliran lalu lintas paksa atau tidak diinginkan dijelaskan oleh LOS F. Jika ada cukup lalu lintas di tempat tertentu untuk menyebabkan itu berhenti mengalir, itu dikatakan berada dalam keadaan LOS F. Dengan menghitung kontras antara volume lalu lintas dan kapasitas dasar jalan (V/C), tingkat layanan (LOS) dapat ditentukan. Kategori jalan atau tingkat pelayanan pada tingkat jalan tertentu dapat ditentukan dengan menghitung nilai LOS. Berikut adalah nilai standar LOS yang digunakan untuk mengkategorikan jalan:

9.6.2 Kualitas layanan bervariasi per fasilitas (*Facility Dependent*)

Bukan saat ini, tetapi jenis fasilitas memiliki dampak yang signifikan. Jalan bebas hambatan menawarkan layanan yang sangat baik. Tingkat pelayanan jalanan sangat miskin. Gambar 11.5 berikut ini adalah ilustrasi dari hal ini. (Tamin, 2003: 65)



Gambar 9.5. Pengaruh Nisbah Waktu Perjalanan Dengan Nisbah Volume/Kapasitas

(Sumber : Perencanaan dan Pemodelan Transportasi, Tamin O. Z, 2003)

Meskipun sumbu x menggambarkan pengaruh arus dan kapasitas, sumbu y memperlihatkan rasio (atau hubungan) waktu yang dihabiskan dan waktu di bawah kondisi arus bebas. (Tamin, O. Z., 2003), yang menunjukkan bahwa temuan percobaan menghasilkan karakteristik berikut:

1. Titik potongan pada sumbu y menjadi jelas saat arus mendekati nol. (zero). (T_0).
2. Ketika arus mendekati maksimumnya, kurva menjadi asimetris.
3. Kurva terus naik secara bertahap.

DAFTAR PUSTAKA

- Direktorat Bina Jalan Kota. 1997, *Manual Kapasitas Jalan Indonesia (MKJI)*, Direktorat Jenderal Bina Marga.
- Gordon R.L, Tighe. W. 2005. *Traffic Control Systems Handbook*. Jakarta : Indeks
- G.R. Wells, Suwardjoko Warpani, 1993, *Rekayasa lalu lintas*, Jakarta : Bhratara
- Morlok, Edward K. | Johan Kelanaputra. 1998. *Pengantar teknik dan perencanaan transportasi*. Jakarta : Erlangga
- National Traffic Signal Report Card, National Transportation Operations Coalition, 2005.
- Tamin, O.Z. 2003.. *Perencanaan dan Pemodelan Transportasi* : ITB, Bandung

BIODATA PENULIS



Adrianto Sugiarto Wiyono

Dosen tetap pada Program Studi Manajemen Logistik Industri
Elektronika Politeknik APP Jakarta

Adrianto Sugiarto Wiyono, lebih akrab dikenal dengan nama Rian ASW, adalah dosen tetap pada Program Studi Manajemen Logistik Industri Elektronika Politeknik APP Jakarta (d.h. Akademi Pimpinan Perusahaan), Kementerian Perindustrian Republik Indonesia dan sebagai advisor pada PT Karya Fajar Ultima (KyFU) yang merupakan konsultan di bidang keselamatan jalan.

Lulus S1 dari Teknik Informatika Universitas Bina Nusantara (BiNus) Jakarta, S2 pertamanya didapatkan dari Magister Akuntansi Universitas Gadjah Mada (UGM) Yogyakarta, S2 yang kedua didupatkannya dari Institut Teknologi Bandung (ITB) dalam program Magister Elektro kekhususan *Chief Information Officer*, S2 yang ketiganya di Institut Transportasi dan Logistik (ITL) Trisakti dengan konsentrasi Transportasi Darat, menyelesaikan program profesi keinsinyuran pada Fakultas Teknik Universitas Gadjah Mada Yogyakarta, dan saat ini sedang menyelesaikan program S3 pada Fakultas Kesehatan Masyarakat Universitas Indonesia.

Selain sebagai dosen pada Politeknik APP, penulis juga pernah mengajar di berbagai kampus di Indonesia. Saat ini penulis lebih dikenal dalam bidang K3 dengan khususnya keselamatan transportasi darat dengan pengalaman lebih dari 10 tahun sebagai praktisi keselamatan jalan dengan menjadi instruktur, juri, narasumber dalam berbagai kegiatan keselamatan berkendara dan merupakan anggota komite teknis ASEAN NCAP (*New Car Assessment Program*).

Profil penulis sangat mudah ditemukan dengan kata kunci “Rian ASW Safety” atau “Adrianto Safety” dan dapat dihubungi melalui e-mail rian.asw@yahoo.co.id atau berbagai media sosial dengan ID @rian_asw.

BIODATA PENULIS



Fathan Mubina Dewadi

Dosen Universitas Buana Perjuangan Karawang

Fathan Mubina Dewadi merupakan pria yang berusia 30 tahun sudah tertarik dengan bidang Pendidikan tinggi sejak tahun 2015. Sejak lulus jurusan Teknik mesin program pascasarjana Universitas Pancasila. Kini penulis sedang bekerja sebagai dosen tetap program studi Teknik mesin di Universitas Buana Perjuangan Karawang. Kini kesibukan penulis ialah lebih menghabiskan waktu untuk mengajar dan menulis. Karya-karya yang telah dibuat dimuat di media *online*, jurnal nasional, jurnal internasional dan jurnal nasional bereputasi. Sudah lebih dari 50 karya yang telah dibuat dan sedang proses untuk pembuatan buku dan bab buku.

BIODATA PENULIS



Rhaptyalyani Herno Della

Dosen Jurusan Teknik Sipil & Perencanaan
Universitas Sriwijaya

Menyelesaikan pendidikan Strata Satu pada Jurusan Teknik Sipil di Universitas Sriwijaya tahun 2007. Kemudian melanjutkan kuliah Magister di bidang Teknik Transportasi di Asian Institute of Technology, Thailand dengan beasiswa dari Asian Development Bank dan AIT-Thailand, selesai pada tahun 2012. Terakhir mulai melanjutkan studi lanjutnya dengan beasiswa dari Elite Scholarship yang dikhususkan untuk tenaga pengajar dari Kementrian Pendidikan Taiwan pada tahun 2017. Menyelesaikan pendidikan Doktorat di bidang Shipping and Transportation Management di National Taiwan Ocean University dengan bidang keahlian manajemen keselamatan dan kualitas pelayanan pelayaran pada tahun 2021. Penulis juga pernah mengikuti internshipt program mengenai Rekayasa & Kebijakan untuk Lingkungan Regional Daerah Dingin di Hokkaido University, Japan tahun 2010. Di akhir tahun 2020 terpilih sebagai delegasi Indonesia untuk mengikuti Southeast Asia International Joint-Research and Training Program on Sustainable Development yang diikuti oleh perwakilan dari delapan negara Asia Tenggara dan Asia

Selatan yang diselenggarakan oleh Ministry of Science and Technology Taiwan. Penulis aktif menulis karya-karya tulis ilmiah baik berupa karya tulis ilmiah di beberapa jurnal baik nasional dan internasional maupun dalam beberapa pertemuan ilmiah.

Email Penulis: rhapty@unsri.ac.id

BIODATA PENULIS



Dr. Ir. Gito Sugiyanto, S.T., M.T., IPM., ASEAN Eng.

Dosen Tetap dengan jabatan fungsional Lektor Kepala (*Associate Professor*) di Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Jenderal Soedirman Purwokerto

Dr. Ir. Gito Sugiyanto, S.T., M.T., IPM., ASEAN Eng. lahir di Gunungkidul, Provinsi Daerah Istimewa Yogyakarta pada tanggal 15 Februari 1980. Saat ini sebagai Dosen Tetap dengan jabatan fungsional Lektor Kepala (*Associate Professor*) di Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Jenderal Soedirman Purwokerto. Gito Sugiyanto memperoleh gelar Doktor (Dr.) Ilmu Teknik Sipil bidang konsentrasi Rekayasa Transportasi dari Universitas Gadjah Mada (UGM) Yogyakarta pada tahun 2011. Gelar Magister Teknik (M.T.) pada bidang Ilmu Teknik Sipil konsentrasi Transportasi diperoleh dari Institut Teknologi Bandung (ITB) pada tahun 2007. Gelar Sarjana Teknik (S.T.) bidang Teknik Sipil diperoleh dari Universitas Sebelas Maret (UNS) Surakarta pada tahun 2002. Gelar Insinyur (Ir.) diperoleh dari Program Studi Program Profesi Insinyur (PPI) Universitas Muhammadiyah Yogyakarta pada tahun 2020.

Dr. Ir. Gito Sugiyanto, S.T., M.T., IPM., ASEAN Eng., telah melakukan beberapa penelitian dengan sumber dana dari

Kementerian Pendidikan dan Kebudayaan, Lembaga Pengelola Dana Pendidikan (LPDP)-Kemenkeu, Kementerian Riset dan Teknologi/Badan Riset dan Inovasi Nasional (BRIN) dengan topik transportasi udara dan transportasi darat. Hasil penelitian telah dipublikasikan pada berbagai jurnal internasional bereputasi, konferensi internasional, dan hak cipta. Jumlah artikel yang terindeks Scopus sebanyak 22 artikel dengan *H-Index Scopus* = 10 dan 17 (tujuh belas) buah karya hak cipta. Minat penelitian utamanya adalah bidang rekayasa lalu lintas, ekonomi transportasi, *pricing*, keselamatan lalu lintas, dan transportasi udara. Gito Sugiyanto adalah anggota dari Persatuan Insinyur Indonesia (PII), Masyarakat Transportasi Indonesia (MTI), Masyarakat Perkeretaapian Indonesia (MasKA) dan juga tergabung sebagai pengurus MTI Jawa Tengah dan Komite Ilmiah dalam Forum Studi Transportasi antar Perguruan Tinggi (FSTPT). E-mail: gito.sugiyanto@unsoed.ac.id.

BIODATA PENULIS



Ir. Muhammad Syarif Prasetia Adiguna Rustam, ST.,MT

Dosen Program Studi Teknik Sipil
Fakultas Teknik Universitas Halu Oleo

Penulis lahir di Kota Kendari Provinsi Sulawesi Tenggara tepat pada Tanggal 17 Juni 1990. Pendidikan sarjana ditempuh pada Universitas Halu Oleo Kendari Prodi Teknik Sipil Tahun 2008 hingga 2012. Pendidikan magisternya ditempuh di Universitas Hasanuddin Makasar pada pada Program Studi Magister Teknik Sipil mulai Tahun 2013 hingga 2015 melalui jalur Beasiswa Program Pascasarjaan – Dalam Negeri. Pendidikan doktoral saat sedang di tempuh di Universitas Brawijaya Malang melalui jalur Beasiswa Unggulan yang di mulai tahun 2019. Karir sebagai dosen dimulai pada awal 2016 di Program Studi Teknik Sipil dan Program Studi Teknik Sipil Vokasi Universitas Halu Oleo Kendari hingga saat ini. Saat ini penulis juga telah menyelesaikan Studi Profesi Keinsinyuran Badan Kejuruan Teknik Sipil di Universitas Hasanuddin Makassar pada tahun 2021. Fokus riset penulis terarah kepada perkerasan jalan khususnya pemanfaatan Penggunaan Aspal Buton terlihat pada Tema Tesis hingga berlanjut ke tema Disertasi yang saat ini sedang dilaksanakan.

BIODATA PENULIS



Dr. Ir. Muhammad Djaya Bakri, ST., MT.

Dosen Program Studi Teknik Sipil
Fakultas Teknik Universitas Borneo Tarakan

Penulis menyelesaikan pendidikan S1 Teknik Sipil dari Universitas Lambung Mangkurat Banjarmasin tahun 1993. Tahun 2007 lulus Program Magister (S-2) Teknik Sipil Universitas Brawijaya Malang dalam bidang Transportasi. Pada tahun 2015 menyelesaikan studi S3 di Program Doktor Teknik Sipil Universitas Brawijaya Malang dengan bidang Transportasi. Tahun 2019 menyelesaikan Program Profesi Insinyur dari Universitas Lambung Mangkurat, sehingga berhak menyandang gelar profesi Insinyur (Ir).

Sejak tahun 2000 bekerja sebagai dosen tetap dan peneliti di Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Borneo Tarakan. Disamping aktivitas mengajar, penulis juga aktif berkarier sebagai konsultan atau tenaga ahli transportasi untuk proyek-proyek yang berhubungan dengan perencanaan transportasi di lingkungan Pemerintah Provinsi dan Pemerintah Kabupaten/Kota se Provinsi Kalimantan Utara.

BIODATA PENULIS



Andi Ibrahim Yunus, S.T., M.T.

Dosen Program Studi Teknik Sipil
Fakultas Teknik Universitas Fajar

Penulis aktif mengajar sejak Tahun 2010 – sekarang. Penulis lahir di Kota “Daeng” Makassar. Penulis menetap di Kabupaten “Rewako” Gowa, Sulawesi Selatan. Penulis menikah dengan Andi Sompia, S.Pd. dan dikaruniai 2 (dua) orang putra, bernama Andi Azman Awwadi dan Andi Afiq Azha.

Penulis memperoleh Piagam Penghargaan sebagai Dosen Tetap Yayasan dengan Masa Pengabdian 10 Tahun dari LLDIKTI9 Tahun 2022. Penulis memperoleh Sertifikat Pendidik dari Kementerian Riset Teknologi dan Pendidikan Tinggi Tahun 2018. Penulis telah mengikuti PEKERTI (Penataran/Pelatihan Pengembangan Keterampilan Dasar Teknik Instruksional) yang dilaksanakan oleh LLDIKTI (Lembaga Layanan Pendidikan Tinggi) Wilayah IX Sulawesi Tahun 2018.

Penulis terlibat dalam Program MBKM (Merdeka Belajar Kampus Merdeka) yang dilaksanakan oleh Kemendikbudristek (Kementerian Pendidikan, Kebudayaan, Riset, dan Teknologi) Republik Indonesia.

Penulis memperoleh Sertifikat Keahlian - Ahli Madya dari LPJK (Lembaga Pengembangan Jasa Konstruksi). Penulis

memperoleh Sertifikat Kompetensi Bidang Jasa Konstruksi - Ahli Madya dari BNSP (Badan Nasional Sertifikasi Profesi) Tahun 2022.

Penulis menjadi AKTK (Asessor Kompetensi Tenaga Kerja) pada bidang Asesmen/ Uji Kompetensi dengan memperoleh Sertifikat Kompetensi dari BNSP (Badan Nasional Sertifikasi Profesi) Tahun 2022. Penulis menjadi Asessor pada Program RPL (Rekognisi Pembelajaran Lampau) yang dilaksanakan oleh Kemendibudristek (Kementerian Pendidikan, Kebudayaan, Riset, Teknologi) Republik Indonesia. Tahun 2023.

Penulis menyelesaikan Studi S2 - Magister Teknik (M.T.) Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin (Unhas) Tahun 2007 Konsentrasi Perancangan Teknik Prasarana.

Penulis telah menulis beberapa Buku Kolaborasi (ISBN dan HAKI), diantaranya berjudul: Alat Pengangkat Bahan (*Material Handling*) (sub bab: Stabilitas *Crane*), Aplikasi Pembelajaran Digital (sub bab: Penulisan dan Publikasi Artikel Ilmiah), Manajemen Bisnis (sub bab: Fungsi Manajemen), Manajemen Destinasi Wisata (Sub bab: Manajemen Sistem Transportasi Pariwisata), Manajemen Digital Bisnis (Sub bab: Digital *Entrepreneurship*), Manajemen Operasional (sub bab: Manajemen Proyek), Metodologi Riset Bidang Sistem Informasi dan Komputer (sub bab: Kuesioner dan Dokumen Sebagai Metode Pengambilan Data). Manajemen Sumber Daya Manusia (Teori) (sub bab: Manajemen Strategik Sumber Daya Manusia), Manajemen Transportasi (sub bab: Moda Transportasi), Pengelolaan Sampah Organik dan Anorganik (sub bab: Konsep Pengelolaan Sampah), Perancangan Sistem Informasi (Sub bab: Manajemen Resiko), Konsep Dasar Kepemimpinan Manajemen Sumber Daya Manusia (sub bab: Manajemen Kepemimpinan Sumber Daya Manusia), dan Sistem Informasi (sub bab: Manajemen Proyek).

BIODATA PENULIS



Ir. Fathur Rahman Rustan, S.T., M.T., IPM.

Dosen Program Studi Teknik Sipil
Fakultas Sains dan Teknologi
Universitas Sembilanbelas November Kolaka

Penulis lahir di Kendari dan merupakan dosen tetap di Program Studi Teknik Sipil Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Sembilanbelas November Kolaka. Penulis tercatat sebagai lulusan Sarjana Teknik (S.T.) bidang Teknik Sipil Universitas Halu Oleo (2009), Magister Teknik (M.T.) bidang Manajemen Rekayasa dan Sumber Air FTSP ITS Surabaya (2013), dan tahun 2020 mengambil Pendidikan Profesi Insinyur (Ir.) Universitas Hasanuddin Makassar. Penulis telah menghasilkan beberapa artikel penelitian dan menghasilkan beberapa Book Chapter serta telah memiliki hak kekayaan intelektual berupa hak cipta.

BIODATA PENULIS



Rachmat Hidayat Dairi, S.T., M.T.

Dosen Program Studi Teknik Sipil
Fakultas Teknik Universitas Dayanu Ikhsanuddin

Penulis lahir di Baubau tanggal 9 Juli 1972. Penulis adalah dosen tetap pada Program Studi Teknik Sipil Fakultas Teknik, Universitas Dayanu Ikhsanuddin sejak tahun 2002 hingga sekarang. Menyelesaikan pendidikan S1 pada Jurusan Teknik Sipil STTNas Yogyakarta dan melanjutkan S2 pada Jurusan Teknik Sipil Unhas Makassar. Tahun 2000 hingga tahun 2002 pernah bekerja sebagai konsultan AMDAL di Bogor.