

BAB 2

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Definisi Jalan

Kecuali rel kereta api, rute truk, dan jalan raya kabel, yang dapat berada baik di atas tanah, di bawahnya, maupun atas permukaan air, jalan didefinisikan sebagai infrastruktur transportasi darat yang mencakup semua komponen jalan serta struktur pendukungnya yang dimaksudkan untuk digunakan oleh kendaraan, sesuai Undang-Undang Republik Indonesia Nomor 38 Tahun 2004. (Bernando, 2018).

Jalan berperan signifikan dalam meningkatkan kesejahteraan umum yaitu memainkan peran penting sebagai komponen penting dari jaringan transportasi negara, terutama dalam membantu sektor sosial, budaya, lingkungan, dan ekonomi. Untuk menjamin pembangunan yang seimbang dan merata di seluruh wilayah, pembangunan jalan dilaksanakan dengan menggunakan model pembangunan wilayah. Selain itu, jalan raya menyediakan kerangka geografis untuk mencapai tujuan pembangunan nasional (Kementerian PUPR, 2004).

Kuantitas lajur dan arah pada ruas jalan menentukan jenis jalan, sesuai Pedoman No. 06/BM/2005 tentang perencanaan U-Turn. Jenis jalan ini tercantum di bawah ini:

1. Jalan 2 lajur 1 arah (2/1)
2. Jalan 2 lajur 2 arah tak terbagi (2/2 TT)
3. Jalan 4 lajur 2 arah tak terbagi (4/2 TT)
4. Jalan 4 lajur 2 arah terbagi (4/2 T)
5. Jalan 6 lajur 2 arah terbagi (6/2 T)

2.2 Klasifikasi Kendaraan

Lima jenis kendaraan dalam arus lalu lintas tersebut adalah sepeda motor (SM), mobil penumpang (MP), kendaraan sedang (KS), bus besar (BB), dan truk berat (TB) menurut PKJI 2023. Pada jaringan perlintasan kota, BB dan TB jika ada perhitungan kapasitas yang realistis, BB dan TB dianggap tidak ada karena TB sangat jarang dan berjalan pada waktu-waktu yang aneh, seperti tengah malam, untuk memastikan dikategorikan sebagai KS. Perhitungan yang

termasuk ke dalam jaringan jalan perkotaan terdiri dari tiga (tiga) jenis kendaraan yaitu SM, MP, dan KS.

2.3 Karakteristik Lalu Lintas

Menurut (Aly, 2012) dalam (Saputra & Savitri, 2021), Interaksi pengemudi, mobil, jalan, dan sekitarnya menciptakan fitur lalu lintas. Penting untuk memperhatikan variabel untuk memahami lalu lalang lalu lintas seperti banyaknya kendaraan yang melintas (*flow*, *volume*), kecepatan kendaraan (*speed*), dan tingkat kepadatan kendaraan di jalan (*density*). Pembahasan ini membahas arus lalu lintas dalam konteks makroskopik.

2.3.1 Volume Lalu Lintas

Nominal total kendaraan di bentangan lalu lintas tertentu disebut Volume lalu lintas. Volume lalu lintas ini krusial, guna mengevaluasi kapasitas suatu ruas jalan, merencanakan transportasi, dan menganalisis pola lalu lintas (Cintya & Prihutomo, 2021).

Menurut (Menteri Perhubungan Republik Indonesia, 2015), Unit mobil penumpang per jam atau mobil per jam adalah satuan pengukuran untuk jumlah kendaraan yang melakukan perjalanan melalui lokasi tertentu di segmen jalan Waktu Unity.

Berdasarkan acuan dalam PKJI 2023, dapat menggunakan persamaan berikut untuk menentukan jumlah lalu lalang kendaraan:

$$Q = (\text{ekr KR} \cdot \text{KR}) + (\text{ekr KB} \cdot \text{KB}) + (\text{ekr SM} \cdot \text{SM}) \quad (2.1)$$

Keterangan :

- Q : Jumlah arus kendaraan (skr/jam)
- Ekr KR : Nilai ekivalen mobil penumpang untuk kendaraan ringan
- Ekr KB : Nilai ekivalen untuk kendaraan berat
- Ekr SM : Nilai ekivalen untuk sepeda motor
- KR : Kendaraan Ringan

KB : Kendaraan Berat
 SM : Sepeda Motor

Untuk nilai Ekuivalensi kendaraan mengacu pada PKJI 2023
 Mengenai jenis jalan yang terbagi ditampakkan tabel:

Tabel 2. 1 EMP Untuk Tipe Jalan Terbagi

Tipe Jalan	Volume lalu- lintas per lajur (kend/jam)	EMP KS	EMP SM
4/2-T atau 2/1	<1050	1,3	0,40
	≥1050	1,2	0,25
6/2-T atau 3/1	<1100	1,3	0,40
	≥1100	1,2	0,25

Sumber: (Pedoman Kapasitas Jalan Indonesia, 2023)

Beberapa jenis volume dibahas dalam kaitannya dengan arus lalu lintas, termasuk:

a. Volume Harian (*Daily Volumes*)

Volume harian, terlepas dari arah atau jalur, biasanya seluruh fasilitas jalan di lokasi tertentu untuk keperluan desain jalan dan pengamatan lalu lintas umum (Maer, Lefrandt, & Timboeleng, 2019).

b. Volume Jam-an (*hourly volumes*)

Untuk menentukan jam sibuk pagi dan sore hari, amati lalu lintas. Desain jalan dan analisis operasional lainnya akan menggunakan data pengamatan ini untuk penilaian keselamatan. Laju arus adalah nilai yang sama dari volume lalu lintas yang melewati suatu lokasi di jalur, bagian, atau segmen jalan setiap jam atau kurang. Faktor jam sibuk (PHF) adalah rasio Volume lalu lintas jam sibuk per jam dibandingkan dengan laju aliran pada jam yang sama, dikalikan empat (Maer, Lefrandt, & Timboeleng, 2019). Berikut merupakan rumus dari perhitungan *Peak Hour Faktor* (PHF):

$$PHF = \frac{\text{Volume per jam}}{4 \cdot \text{peak rate factor of flow}} \quad (2.2)$$

2.3.2 Kecepatan Arus Lalu Lintas

Kecepatan ialah faktor kedua yang berkontribusi pada penjelasan arus lalu lintas di jalan. Sebuah mobil memiliki waktu terbatas untuk melakukan perjalanan dengan kecepatan tertentu. Setiap mobil dalam arus lalu lintas bergerak dengan kecepatan yang berbeda. Akibatnya, distribusi kecepatan lalu lintas lebih seperti satu kendaraan daripada memiliki fitur satu kecepatan. Nilai tipikal atau jumlah rata-rata dari distribusi ini dapat digunakan untuk menentukan sifat arus lalu-lintas (Azhari, 2022). Dalam perhitungannya kecepatan rata-rata dibedakan menjadi dua, yaitu:

1. *Time Mean Speed (TMS)*,

Kecepatan rata-rata semua kendaraan yang melewati tempat tertentu pada waktu tertentu dikenal sebagai *Time Mean Speed (TMS)*.

$$SMS = \frac{n \cdot d}{\sum_{i=1}^n t_i} \quad (2.3)$$

2. *Space Mean Speed (SMS)*

Kecepatan rata-rata dari waktu ke waktu dari semua mobil yang memanfaatkan ruas jalan ke waktu disebut *Space Mean Speed (SMS)*.

$$TMS = \frac{\sum_{i=1}^n \frac{d}{t_i}}{n} \quad (2.4)$$

Dengan rumus dasar dari kecepatan yaitu:

$$v = \frac{s}{t} \quad (2.5)$$

2.3.3 Kepadatan Lalu Lintas

Dihitung sebagai angka mobil melintasi panjang jalan kemudian diukur dibagi dengan panjang jalan yang diperhatikan. Kepadatan atau kerapan menantang agar dihitung dengan tepat, Meskipun demikian, kecepatan dan volume dapat digunakan untuk menghitungnya (Timpal, 2018). Berikut ini ialah persamaan yang mengenali kaitan antara kepadatan, kecepatan, dan volume::

$$D = \frac{v}{s} \quad (2.6)$$

Keterangan:

D = *Density* atau kepadatan (smp/km)

v = Volume lalu lintas (smp/jam)

s = *Speed* atau Kecepatan kendaraan (km/jam)

2.4 Kapasitas Jalan

Perspektif Direktur Jenderal Bina Marga Departemen Pekerjaan Umum (2014), Kapasitas adalah arus lalu lintas maksimum yang dapat dipertahankan selama bentangan jalan tertentu dalam kondisi tertentu, atau kondisi yang mencakup pertimbangan lalu lintas, lingkungan, dan geometris..

Menurut PKJI 2023, C untuk tipe jalan tak terbagi, 2/2-TT, dihitung untuk total dua arah dan dua volume lalu lintas. Jenis jalan yang diklasifikasikan sebagai 4/2-T, 6/2-T, dan 8/2-T dilambangkan secara terpisah untuk setiap jalur dan arah. Secara umum, Persamaan 4-1 dapat digunakan untuk menghitung segmen jalan C.

$$C = C_0 \cdot FC_{LJ} \cdot FC_{PA} \cdot FC_{HS} \cdot FC_{UK} \quad (2.7)$$

Keterangan:

C	=	Kapasitas (skr/jam)
C_0	=	Kapasitas dasar (skr/jam) (Tabel 2. 2)
FC_{LJ}	=	Faktor Penyesuaian Lebar Jalan (Tabel 2. 4)
FC_{PA}	=	Faktor Penyesuaian Pemisah Arah (Tabel 2. 5)
FC_{HS}	=	Faktor Penyesuaian hambatan samping dan bahu jalan (Tabel 2. 6)
FC_{UK}	=	Faktor Penyesuaian Ukuran kota (Tabel 2. 7)

Penentuan nilai-nilai dari rumus diatas, Lihat tabel di bawah ini:

Tabel 2. 2 Kapasitas Dasar C_0

Tipe Jalan	C_0 (SMP/km)	Catatan
4/2-T, 6/2-T, 8/2-T atau jalan satu arah	1700	Per lajur (satu arah)
2/2-TT	2800	Per dua arah

Sumber: Pedoman Kapasitas Jalan Indonesia, 2023

Tabel 2. 3 Kondisi Segmen Jalan Ideal Untuk Menetapkan Kecepatan Arus Bebas Dasar (VBD) dan kapasitas dasar (C_0)

Spesifikasi penyediaan prasarana jalan					
No	Uraian	Jalan Sedang tipe 2/2-TT	Jalan Raya tipe 4/2-T	Jalan Raya tipe 6/2-T	Jalan Satu arah tipe 1/1, 2/1, 3/1
1	Lebar Jalur lalu lintas, m	7,0	4x3,5	6x3,5	2x3,5
2	Lebar Bahu efektif di kedua sisi, m	1,5	Tanpa bahu, tetapi dilengkapi kereb di kedua sisinya		2,0
3	Jarak terdekat kereb ke penghalang, m	-	2,0	2,0	2,0
4	Median	Tidak ada	Ada, tanpa bukaan	Ada, tanpa bukaan	-
5	Pemisahan arah, %	50-50	50-50	50-50	-
6	KHS	Rendah	Rendah	Rendah	Rendah

7	Ukuran kota, Juta jiwa	1,0-3,0	1,0-3,0	1,0-3,0	1,0-3,0
8	Tipe alinemen jalan	Datar	Datar	Datar	Datar
9	Komposisi MP: KS:SM	60%:8%:32%	60%:8%:32%	60%:8%:32%	60%:8%:32%
10	Faktor K	0,08	0,08	0,08	

Sumber: Pedoman Kapasitas Jalan Indonesia, 2023

Tabel 2. 4 Faktor Koreksi Kapasitas Akibat Perbedaan Lebar Lajur, F_{CLJ}

Tipe Jalan	L_{LE} atau L_{JE} (m)	F_{CLJ}
	$L_{LE} = 3,00$	0,92
4/2-T, 6/2-T, 8/2-T atau jalan satu arah	3,25	0,96
	3,50	1,00
	3,75	1,04
	4,00	1,08
	$L_{JE} 2 \text{ arah} = 5,00$	0,56
2/2-TT	6,00	0,87
	7,00	1,00
	8,00	1,14
	9,00	1,25
	10,00	1,29
	11,00	1,34

Sumber: Pedoman Kapasitas Jalan Indonesia, 2023

Tabel 2. 5 Faktor Koreksi Kapasitas Akibat PA Pada Tipe Jalan Tak Terbagi, F_{CPA}

PA %-%	50-50	55-45	60-40	65-35	70-30
F_{CPA}	1,00	0,97	0,94	0,91	0,88

Sumber: Pedoman Kapasitas Jalan Indonesia, 2023

Tabel 2. 6 Faktor Koreksi Kapasitas Akibat KHS Pada Jalan Berkereb, F_{CHS}

Tipe Jalan	KHS	F_{CHS}			
		Jarak kereb ke penghalang terdekat sejauh L_{KP} , m			
		$\leq 0,5$	1,0	1,5	$\geq 2,0$
4/2-T	Sangat Rendah	0,95	0,97	0,99	1,01
	Rendah	0,94	0,96	0,98	1,00
	Sedang	0,91	0,93	0,95	0,98
	Tinggi	0,86	0,89	0,92	0,95
2/2-TT atau Jalan satu arah	Sangat Tinggi	0,81	0,85	0,88	0,92
	Sangat Rendah	0,93	0,95	0,97	0,99
	Rendah	0,90	0,92	0,95	0,97
	Sedang	0,86	0,88	0,91	0,94
	Tinggi	0,78	0,81	0,84	0,88

Sangat Tinggi	0,68	0,72	0,77	0,82
---------------	------	------	------	------

Sumber: Pedoman Kapasitas Jalan Indonesia, 2023

Tabel 2. 7 Faktor Koreksi Kapasitas Terhadap Ukuran Kota, FC_{UK}

Ukuran kota (Juta jiwa)	Kelas kota/kategori kota		Faktor koreksi ukuran kota, (FC_{UK})
<0,1	Sangat Kecil	Kota kecil	0,86
0,1-0,5	Kecil	Kota kecil	0,9
0,5-1,0	Sedang	Kota Menengah	0,94
1,0-3,0	Besar	Kota Besar	1,00
>3,0	Sangat Besar	Kota Metropolitan	1,04

Sumber: Pedoman Kapasitas Jalan Indonesia, 2023

2.5 Hambatan Samping

Mengacu PKJI 2023, ialah aktivitas pada sekitar segmen jalan yang dapat memengaruhi keefektifan lalu lintas. Variabel-variabel berikut dapat memengaruhi arus lalu lintas dan kinerja jalan:

1. Pejalan kaki,
2. berhentinya kendaraan umum atau kendaraan lain,
3. aktivitas keluar masuk lahan di sebelah jalan,
4. keberadaan kendaraan yang bergerak lambat atau memiliki karakteristik fisik tertentu.

Frekuensi kemunculan masing-masing jenis side obstacle dikalikan dengan bobotnya menghasilkan nilai Side Obstacle Class (KHS). Berdasarkan temuan pengamatan lapangan yang dilakukan selama 1 jam di bagian-bagian segmen yang disaksikan, frekuensi insiden obstruksi samping dikuantifikasi. Nilai berat jenis resistansi samping ditampilkan pada **Tabel 2. 8**.

Tabel 2. 9.

Tabel 2. 8 Pembobotan Hambatan Samping

No	Jenis hambatan samping utama	Bobot
1	Pejalan kaki di badan jalan dan yang menyeberang	0,5
2	Kendaraan umum dan kendaraan lainnya yang berhenti	1,0
3	Kendaraan keluar/masuk sisi atau lahan samping jalan	0,7
4	Arus kendaraan lambat (kendaraan tak bermotor)	0,4

Sumber: Pedoman Kapasitas Jalan Indonesia, 2023

Tabel 2. 9 Kriteria KHS Berdasarkan Nilai Frekuensi Kejadian

KHS	Jumlah nilai frekuensi kejadian (di kedua sisi jalan dikali bobot)	Ciri-ciri khusus
Sangat Rendah (SR)	<100	Daerah Permukiman, tersedia jalan lingkungan (frontage road)
Rendah (R)	100 – 299	Daerah Permukiman, ada beberapa angkutan umum (angkutan kota).
Sedang (S)	300 – 499	Daerah Industri, ada beberapa toko di sepanjang sisi jalan.
Tinggi (T)	500 – 899	Daerah komersial memiliki banyak aktivitas sisi jalan.
Sangat Tinggi (ST)	≥900	Daerah Komersial, ada aktivitas pasar sisi jalan.

Sumber: Pedoman Kapasitas Jalan Indonesia, 2023

2.6 Derajat Kejenuhan dan Tingkat Pelayanan Jalan

Metrik utama untuk menilai kinerja segmen jalan adalah tingkat kejenuhannya. Tingkat nilai saturasi (D_J), yang bergerak dari nol ke satu, mewakili efisiensi lalu lintas. Nilai mendekati 0 menunjukkan arus lalu lintas yang tidak padat, ketika mobil tambahan hadir tetapi tidak berdampak substansial pada mobil lain. Sebaliknya, nilai yang mendekati satu mengindikasikan kondisi lalu lintas yang mencapai kapasitas maksimum. Untuk setiap nilai D_J tertentu, kepadatan lalu lintas beserta Kecepatan arus dapat berlanjut atau diperkirakan berlanjut selama satu jam. Rumus berikut digunakan untuk menghitung D_J :

$$D_J = \frac{q}{C} \quad (2.8)$$

Keterangan:

- D_j : adalah derajat kejenuhan
 C : adalah kapasitas segmen jalan, dalam SMP/km
 q : adalah jumlah lalu lintas, diukur dalam SMP / jam, yang dibagi menjadi dua kategori dalam analisis kapasitas: q_{JP} , yang berasal dari prediksi atau desain, dan $q_{eksisting}$, yang berasal dari perhitungan lalu lintas

Tingkat layanan ruas jalan akan ditentukan oleh tingkat nilai kejenuhan ini. menurut berikut ini dapat dijadikan indikator untuk menentukan tingkat pelayanan (Morlok, 1991) dalam (Timpal, 2018):

Tabel 2. 10 Tingkat Pelayanan Jalan

Tingkat Pelayanan	Kondisi Arus	Derajat Kejenuhan
A	Kondisi arus bebas dengan kecepatan tinggi, pengemudi dapat memilih kecepatan yang diinginkan tanpa hambatan.	0 – 0,20
B	Arus stabil tapi kecepatan operasi mulai dibatasi oleh kondisi lalulintas. Pengemudi memiliki kebebasan yang cukup untuk memilih kecepatan.	0,20 – 0,44
C	Arus stabil, tetapi kecepatan dan gerak kendaraan dikendalikan. Pengemudi dibatasi dalam memilih kecepatan.	0,45 – 0,74
D	Arus mendekati tidak stabil, kecepatan masih dikendalikan V/C masih dapat ditolerir.	0,75 – 0,84
E	volume lalulintas mendekati/berada pada kapasitas arus tidak stabil, kecepatan terkadang terhenti.	0,85 – 1,00
F	Arus yang dipaksakan atau macet, kecepatan rendah, volume dibawah kapasitas, antrian panjang dan terjadi hambatan-hambatan yang besar.	>1,00

Sumber: Morlok, 1991 dalam Timpal, 2018

2.7 Kecepatan Arus Bebas

Menurut PKJI 2023, Nilai batas kecepatan (V_B) untuk kendaraan Mobil Penumpang (MP) digunakan sebagai standar untuk menilai kinerja segmen jalan. Sementara itu, nilai batas kecepatan untuk Kendaraan Sedang (KS) dan Sepeda Motor (SM) disebutkan untuk tujuan referensi atau lainnya. Secara

umum, nilai batas kecepatan untuk kendaraan bermotor Biasanya 10-15% lebih mahal daripada jenis mobil lainnya. Rumus ini digunakan untuk menghitung V_B :

$$V_B = (V_{BD} + V_{BL}) \cdot FV_{BHS} \cdot FV_{BUK} \quad (2.9)$$

Keterangan:

- V_B = adalah kecepatan arus bebas MP di lapangan, dinyatakan dalam km/jam.
- V_{BD} = adalah kecepatan arus bebas fundamental untuk MP; yaitu, kecepatan yang ditentukan oleh lalu lintas, geometri, dan nilai optimal ditunjukkan dalam (Tabel 2. 11)
- V_{BL} = adalah nilai penyesuaian kecepatan dalam km/jam yang disebabkan oleh lebar lajur atau jalan (lebar lajur pada jenis jalan yang tidak dibagi atau lajur lebarnya di jenis jalan yang terbelah). Nilai ditampilkan dalam lampiran. (Tabel 2. 12)
- FV_{BHS} = adalah variabel koreksi kekencangan yang disebabkan oleh penghalang samping di jalan raya dengan bahu atau jalan setapak yang memiliki jarak kereb ke hambatan terdekat; Nilai faktor ini dapat ditemukan di (Tabel 2. 12 2.13)
- FV_{BUK} = adalah faktor koreksi kecepatan gratis yang nilainya ditampilkan guna tolak ukur kota tertentu. (Tabel 2.14).

Tabel 2. 11 Kecepatan Arus Bebas Dasar, V_{BD}

Tipe Jalan		V_{BD} , km/jam			Rata-rata semua kendaraan
		MP	KS	SM	
Jalan Terbagi	4/2-T, 6/2-T, 8/2-T atau jalan satu arah	61	52	48	57
Jalan Tak Terbagi	2/2-TT	44	40	40	42

Sumber: Pedoman Kapasitas Jalan Indonesia, 2023

Tabel 2. 12 Nilai Koreksi Kecepatan Arus Bebas Dasar Akibat Lebar Lajur atau Jalur Lalu Lintas Efektif (V_{BL})

Tipe jalan		L_{JE} atau L_{LE}	V_{BL}
		(m)	(km/jam)
Jalan Terbagi	4/2-T, 6/2-T, 8/2-T atau jalan satu arah	$L_{LE}=3,00$	-4
		3,25	-2
		3,50	0
		3,75	2
		4,00	4
Jalan Tak Terbagi	2/2-TT	$L_{JE} = 5,00$	-9.5
		6,00	-3
		7,00	0
		8,00	3
		9,00	4
		10,00	6
		11,00	7

Sumber: Pedoman Kapasitas Jalan Indonesia, 2023

Tabel 2. 13 Faktor Koreksi Arus Bebas Akibat Hambatan Samping untuk Jalan Berkereb dan Trotoar dengan Jarak Kereb ke Penghalang Terdekat LKP (FV_{BHS})

Tipe jalan	KHS	FVBHS LKP (m)				
		≤0,5 m	1,0 m	1,5 m	≥2 m	
Jalan Terbagi	4/2-T, 6/2-T, 8/2-T	SR	1,00	1,01	1,01	1,02
	atau jalan satu arah	R	0,97	0,98	0,99	1,00
		S	0,93	0,95	0,97	0,99
		T	0,87	0,90	0,93	0,96
		ST	0,81	0,85	0,88	0,92
Jalan Tak Terbagi	2/2-TT	SR	0,98	0,99	0,99	1,00
		R	0,93	0,95	0,96	0,98
		S	0,87	0,89	0,92	0,95
		T	0,78	0,81	0,84	0,88
		ST	0,68	0,72	0,77	0,82

Sumber: Pedoman Kapasitas Jalan Indonesia, 2023

Tabel 2. 14 Faktor Koreksi Kecepatan Arus Bebas Akibat Ukuran Kota (FV_{BUK}) untuk Jenis Kendaraan MP

Ukuran kota (Juta jiwa)	FV_{BUK}
<0,1	0,90
0,1-0,5	0,93
0,5-1,0	0,95
1,0-3,0	1,00
>3,0	1,03

Sumber: Pedoman Kapasitas Jalan Indonesia, 2023

2.8 Hubungan Matematis Volume, Kecepatan, dan Kepadatan

Persamaan ini mewakili keterkaitan matematis bagi kerapatan, volume, dan kecepatan:

$$V = D \cdot S \quad (2.10)$$

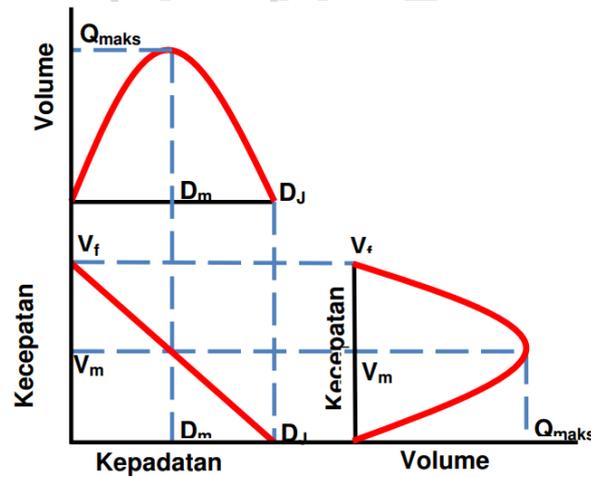
Keterangan:

D = Kepadatan lalu lintas (skr/Km)

V = Volume lalu lintas (skr/Jam)

S = Kecepatan kendaraan (km/Jam)

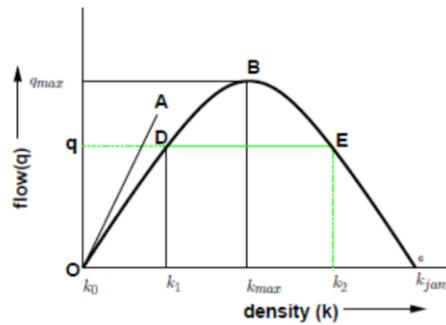
Keterkaitan matematis bagi parameter juga bisa dipaparkan grafik seperti **Gambar 2.3**.



Gambar 2. 1 Grafik Hubungan Kecepatan, Kepadatan, dan Volume Lalu Lintas (Jabeena, 2013)

a. Hubungan antara Volume dan Kepadatan

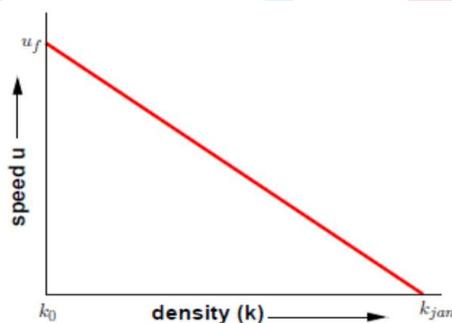
Pada **Gambar 2.4** dibawah ini pada sumbu Y menjelaskan volume lalu lintas dan sumbu X menjelaskan mengenai kepadatan. Dari grafik ini semakin ke kanan menandakan kepadatan yang semakin tinggi dan ditandai pula dengan volume yang semakin tinggi. Pada titik B atau arus maksimal memiliki arti yaitu kendaraan telah meningkatkan kapasitas ruas jalan dengan melewatinya. Paada kondisi titik B ini dapat dikatakan sebagai kondisi dengan kepadatan kritis. Ketika kondisi arus lalu lintas dari titik B menuju E, dapat terlihat bahwa volume yang dapat melintas di ruas jalan tersebut kemudian akan menurun dikarenakan pada saat ini terjadi fenomena kemacetan.



Gambar 2. 2 Grafik Hubungan Volume dan Kepadatan (Jabeena, 2013)

b. Hubungan antara Kecepatan dan Kepadatan

Pada **Gambar 2.5** dibawah ini pada sumbu Y yang merupakan sumbu kecepatan dan sumbu X menjelaskan mengenai kepadatan. Grafik ini menjelaskan bahwa apabila kepadatan dalam suatu ruas jalan 0, maka kecepatan maksimal, hal ini dikarenakan tidak adanya arus dalam ruas jalan, sehingga kendaraan dapat melaju dengan kecepatan maksimal karena tidak ada hambatan apapun dari kendaraan lain. Apabila kepadatan semakin tinggi, maka kecepatan pengendara dalam suatu ruas jalan akan semakin menurun dikarenakan pengendara harus mengikuti dan menyesuaikan dengan arus lalu lintas yang dilalui.

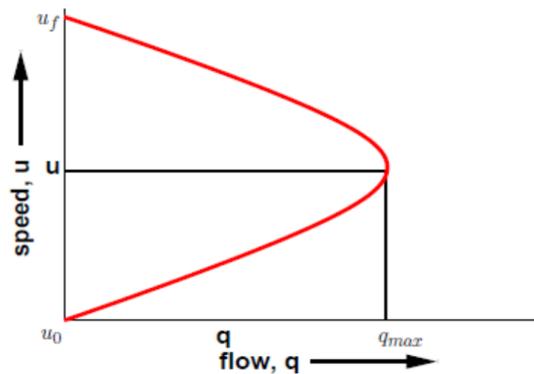


Gambar 2. 3 Grafik Hubungan Kecepatan dan Kepadatan (Jabeena, 2013)

c. Hubungan antara Kecepatan dan Volume

Pada **Gambar 2.6** dibawah ini pada sumbu Y yang merupakan sumbu kecepatan dan sumbu X menjelaskan mengenai arus kendaraan. Pada kondisu U_f , kondisi pada titik ini menjelaskan bahwa arus bernilai 0 atau tidak ada kendaraan, maka pengendara dapat melajukan kendaraanya setinggi mungkin, namu semakin kekanan kecepatan

pengendara akan menurun ketika arus dalam sebuah lalu lintas mencapai puncak.



Gambar 2. 4 Grafik Hubungan Kecepatan dan Volume (Jabeena, 2013)

2.9 Model Greenshield

Model *Greenshield* (1934) ialah model pertama yang pernah didokumentasikan dari pengamatan perilaku lalu lintas. *Greenshield* menunjukkan bahwa ada hubungan linier bagi kekencangan rata-rata ruang (SMS) dan kepadatan mobil pada lalu lintas berdasarkan penelitian yang dia lakukan di jalan raya di luar Ohio City (Sholahudin & Nurmayadi, 2021).

2.9.1 Kaitan Matematis bagi Kekencangan – Kerapatan (S - D)

$$S = S_{ff} - \frac{S_{ff}}{D_j} \cdot D \quad (2.11)$$

Keterangan:

U_s = Kecepatan rata – rata dalam keadaan arus lalu lintas padat (km/jam)

U_f = Kecepatan rata – rata dalam keadaan arus lalu lintas bebas (km/jam)

D_j = Kerapatan jenuh (smp/m)

D = Kerapatan (smp/km)

Hal yang sama keterkaitan kekencangan dan kerapatan itu pada umumnya linier $y = a + bx$, dimana $y = S$, $S_{ff} = a$ dan $-\frac{S_{ff}}{D_j} = b$ serta

$D = x$.

2.9.2 Hubungan Matematis Antara Volume – Kerapatan (V - D)

Dengan memanfaatkan basis (2.10), hubungan matematis antara volume dan densitas diturunkan. Persamaan (2,12) diganti dengan persamaan (2,11), dan hasil persamaan (2,13)–(2,14) tercapai.

$$S = \frac{V}{D} \quad (2.12)$$

$$\frac{V}{D} = S_{ff} - \frac{S_{ff}}{D_j} \cdot D \quad (2.13)$$

$$V = D \cdot S_{ff} - \frac{S_{ff}}{D_j} \cdot D^2 \quad (2.14)$$

Hubungan antara karakteristik lalu lintas, khususnya volume dan kepadatan (V-D), dinyatakan dengan persamaan (2,14). Dari persamaan tersebut, apabila dilakukan penurunan persamaan, maka kondisi nilai volume maksimum (V_m) dapat diperoleh melalui persamaan (2.15)-(2.16).

$$\frac{\partial V}{\partial D} = S_{ff} - \frac{2 \cdot S_{ff}}{D_j} \cdot D_M = 0 \quad (2.15)$$

$$D_M = \frac{D_j}{2} \quad (2.16)$$

Nilai V_m dapat ditemukan seperti pada persamaan (2,17)-(2,18) dengan mengganti persamaan (2,14) dengan persamaan (2,16).

$$V_M = \frac{D_j \cdot S_{ff}}{2} - \frac{S_{ff}}{D_j} \cdot \frac{(D_j)^2}{4} \quad (2.15)$$

$$V_M = \frac{D_j \cdot S_{ff}}{4} \quad (2.16)$$

2.9.3 Hubungan Matematis Antara Volume – Kecepatan (V-S)

Kesamaan dasar (2,10) bisa dipakai guna menentukan kaitan matematis volume dan kekencangan. Persamaan (2,18)-(2,20) kemudian dapat dibuat dengan mengganti persamaan (2,11) dengan persamaan (2,17).

$$D = \frac{V}{S} \quad (2.17)$$

$$S = S_{ff} - \frac{S_{ff}}{D_j} \cdot \frac{V}{S} \quad (2.18)$$

$$\frac{S_{ff}}{D_j} \cdot \frac{V}{S} = S_{ff} - S \quad (2.19)$$

$$V = D_j \cdot S - \frac{D_j}{S_{ff}} \cdot S^2 \quad (2.20)$$

Hubungan antara karakteristik lalu lintas, khususnya volume dan kecepatan (V-S), dinyatakan dengan persamaan (2,20). Dari persamaan tersebut, apabila dilakukan penurunan persamaan, maka kondisi nilai kecepatan maksimum (S_m) dapat diperoleh melalui persamaan (2.21)-(2.22).

$$\frac{\partial V}{\partial S} = D_j - \frac{2 \cdot D_j}{S_{ff}} \cdot S_M = 0 \quad (2.21)$$

$$S_M = \frac{S_{ff}}{2} \quad (2.22)$$

Dengan mensubstitusi persamaan (2.22) ke persamaan (2.20), maka nilai VM dapat diperoleh seperti dalam persamaan (2.23)-(2.24) berikut.

$$V_M = \frac{D_j \cdot S_{ff}}{2} - \frac{D_j}{S_{ff}} \cdot \frac{(S_{ff})^2}{4} \quad (2.23)$$

$$V_M = \frac{D_j \cdot S_{ff}}{4} \quad (2.24)$$

Sehingga dari persamaan diatas, maka dapat disimpulkan untuk model *Greenshield* bahwa volume maksimum $V_M = \frac{D_j \cdot S_{ff}}{4}$ dapat dicapai pada kondisi kecepatan maksimum $S_M = \frac{S_{ff}}{2}$ dan kepadatan maksimum $D_M = \frac{D_j}{2}$.

2.10 Model Greenberg

Menggunakan model logaritma natural alih-alih fungsi linier, pendekatan Greenberg (1959) menegaskan bahwa hubungan antara densitas dan kecepatan (Tamin, 2008). Tujuan awal model ini adalah untuk menilai kepadatan, arus, dan kecepatan ini dilakukan pada studi *Lincoln Tunnel* (Terowongan Lincoln). Berikut merupakan rumus dasar dari *Greenberg*:

$$D = C \cdot e^{-b \cdot S} \quad (2.25)$$

Keterangan:

D = Kepadatan

C dan b = Konstanta

S = Kecepatan

2.10.1. Hubungan Matematis Antara Kecepatan – Kepadatan (S-D):

Hubungan karakteristik antara kecepatan dan densitas (S-D) dapat dinyatakan dalam persamaan berikut (2,29) jika persamaan (2,25) dapat dinyatakan dengan persamaan logaritmik alami.

$$\ln D = \ln C + bS \quad (2.26)$$

$$bS = \ln C - \ln D \quad (2.27)$$

$$S = \frac{\ln C}{b} - \frac{\ln D}{b} \quad (2.28)$$

$$S = \frac{1}{b} \ln \frac{C}{D} \quad (2.29)$$

2.10.2. Hubungan Matematis Antara Volume – Kepadatan (V-D):

Dengan memulai dengan persamaan dasar (2,10) dan mengubah persamaan (2,12) ($S = (V) / (D)$) menjadi persamaan (2,29), seseorang bisa meraih keterkaitan matematis bagi volume dan kerapatan. Ini menghasilkan persamaan (2,30)-(2,31).

$$\frac{V}{D} = \frac{1}{b} \ln \frac{C}{D} \quad (2.30)$$

$$V = \frac{D}{b} \ln \frac{C}{D} \quad (2.31)$$

Hubungan antara variabel yang membentuk volume lalu lintas dan kepadatan (V-D) dinyatakan dalam persamaan 2,31. Densitas $D=D_M$ menghasilkan kondisi volume maksimum (V_M). Rumus (2,32)-(2,35) dapat digunakan untuk menentukan nilai $D=D_M$.

$$\frac{\partial V}{\partial D} = \frac{1}{b} \cdot \ln \frac{C}{D_M} + \frac{D_M}{b} \cdot \left(\frac{-1}{D_M} \right) = 0 \quad (2.32)$$

$$\frac{1}{b} \cdot \ln \frac{C}{D_M} - \frac{1}{b} = 0 \quad (2.33)$$

$$(\ln C - \ln D_M) - 1 = 0 \quad (2.34)$$

$$D_M = e^{\ln C - 1} = \frac{C}{e} \quad (2.35)$$

Dengan mensubstitusi rumus (2,35) untuk kesamaan (2,31), nilai V_M dapat ditemukan dengan cara yang dijelaskan di bawah ini:

$$V_M = \frac{C}{eb} \cdot (\ln C - \ln C + 1) \quad (2.36)$$

$$V_M = \frac{C}{be} \quad (2.37)$$

2.10.3. Hubungan Matematis Antara Volume – Kecepatan (V-S):

antara volume dan kecepatan dapat diperoleh dengan memasukkan kesamaan (2,17) ke dalam persamaan dasar (2,10) ($D = \frac{V}{S}$) Rumus (2,38)-(2,39) diturunkan dalam kaitannya dengan persamaan (2,25)

$$\frac{V}{S} = C \cdot e^{-b \cdot S} \quad (2.38)$$

$$V = S \cdot C \cdot e^{-b \cdot S} \quad (2.39)$$

Nilai volume maksimum (V_m) dapat diperoleh melalui penurunan persamaan (2.39), sehingga nilai $S=S_M$ dapat diperoleh pada persamaan (2.40)-(2.42).

$$\frac{\partial V}{\partial S} = C e^{-b \cdot S_M} - S_M C b e^{-b \cdot S_M} = 0 \quad (2.40)$$

$$C e^{-b \cdot S_M} (1 - S_M b) = 0 \quad (2.41)$$

$$S_M = \frac{1}{b} \quad (2.42)$$

Nilai V_m dapat diturunkan dengan mengubah persamaan (2,39) menjadi persamaan (2,42), yang menghasilkan persamaan berikut (2,44).

$$V_M = \frac{1}{b} \cdot C \cdot e^{-1} \quad (2.43)$$

$$V_M = \frac{C}{be} \quad (2.44)$$

Sehingga dari persamaan diatas, dengan demikian dapat disimpulkan bahwa volume maksimum untuk model Greenberg $V_M = \frac{C}{be}$ dapat dicapai pada kondisi kecepatan maksimum $S_M = \frac{1}{b}$ dan kepadatan maksimum $D_M = \frac{C}{e}$.

2.11 Analisis Regresi dan Korelasi

2.11.1 Analisis Regresi

Studi tentang hubungan antara fungsi antar variabel dalam bentuk persamaan matematika dikenal sebagai analisis regresi. Persamaan berikut menggambarkan kaitan linier variabel tidak bebas dan independen:

$$Y = Ax + B \quad (2.45)$$

Jadi persamaan berikut bisa dimanfaatkan guna menelusuri nilai B dan A.:

$$A = \frac{\sum X^2 \cdot \sum Y - \sum X \cdot \sum XY}{n \cdot \sum X^2 - (\sum X)^2} \quad (2.46)$$

$$B = \frac{n \cdot \sum XY - \sum X \cdot \sum Y}{n \cdot \sum X^2 - (\sum X)^2} \quad (2.47)$$

Keterangan :

- A = konstanta regresi
- B = konstanta regresi
- x = variabel bebas
- y = variabel terikat
- n = jumlah sampel

2.11.2 Analisis Korelasi

Nilai koefisien koneksi (R^2) digunakan dalam analisis korelasi untuk menyatakan seberapa jauh kaitan variabel bebas dan tidak bebas diekspresikan. Rentang nilai untuk koefisien R^2 berjalan dari -1 hingga 1. Kedua variabel dikatakan tidak memiliki hubungan jika nilai koefisien R^2 sama dengan nol, dan memiliki hubungan sempurna jika nilai koefisien R^2 sama dengan satu (Chin,

1998).dapat menggunakan rumus berikut untuk menemukan nilai koefisien r:

$$R = \frac{n \sum xy - \sum x \sum y}{\sqrt{[(n \sum x^2 - (\sum x)^2) (n \sum y^2 - (\sum y)^2)]}} \quad (2.48)$$

2.12 Putar Balik (U-Turn)

2.12.1 Pengertian *U-Turn*

U-turn ialah suatu fasilitas bukaan median yang diberikan untuk pengguna jalan yang bakal menerapkan balik arah. Dalam (Munawar, 2006) *U-turn* atau putar balik ialah area khusus yang digunakan pada ruas jalan dengan pembatas untuk rotasi kendaraan bermotor dan tidak bertenaga. Sedangkan Menurut (Departemen Pekerjaan Umum Direktorat Jendral BinaMarga , 2005) Pergerakan lalu lintas mobil untuk berbalik dan menuju ke arah lain dikenal sebagai *U-turn*.

Setiap pembukaan median memungkinkan *u-turn*; Namun, jika dilarang oleh rambu lalu lintas yang menampilkan perangkat bantuan seperti pasak, belokan tersebut tidak dapat dilakukan (Wiranto, 2019).

2.12.2 Pengaruh Fasilitas *U-Turn* Terhadap Arus Lalu Lintas

Selama putar balik, Ketika mobil mendekati jalur cepat, itu akan melambat atau berhenti. Lalu lintas dengan cara itu serta arah lain dipengaruhi oleh kelambatan ini. Secara umum, mobil harus menunggu celah lalu lalang kendaraan yang timbul arah berlawanan sebelum mereka dapat berpaling. Kendaraan lain yang bergerak ke arah yang sama akan berhenti dan membentuk menunggu di jalur cepat ketika kendaraan memutar balik pada bukaan median sempit. Ukuran putaran *U-Turn*, atribut mobil, dan keterampilan pengemudi adalah beberapa variabel yang mempengaruhi perjalanan putaran *U* ke arah ini (Cintya & Prihutomo, 2021).

2.13 Teori Antrian

Panjang antrian, yang diukur dalam satuan meter dan digambarkan sebagai jumlah waktu sekelompok mobil menunggu, adalah peristiwa dalam arus lalu lintas yang biasa dijumpai (Rifaldo Rosta, 2019). Untuk memperhitungkan antrian menggunakan persamaan:

$$\mu = \frac{3600}{\text{lama waktu manuver kendaraan } U - \text{Turn}} \quad (2.49)$$

$$\rho = \frac{\lambda}{\mu} \quad (2.50)$$

Keterangan :

p = Rasio Antrian

λ = Jumlah rerata kendaraan yang datang per satuan waktu.

μ = Jumlah rerata kendaraan yang dilayani per satuan waktu.

Menurut (Jay & Barry, 2005) dalam (Azhari, 2022) berikut merupakan

● makna dari rasio antrian, jika:

- $\lambda < \mu$, maka kondisi ini menyatakan bahwa terdapat antrian namun, tidak selalu bertambah Panjang (tak hingga)
- $\lambda = \mu$, maka pada kondisi ini Karena ini adalah waktu yang sibuk untuk sistem atau layanan, tidak ada antrean yang menunggu untuk dilayani, tetapi semua layanan akan sibuk.
- $\lambda > \mu$, pada kondisi ini tingkat tingkat pelayanan lebih kecil dari pada kendaraan yang datang, ... untuk menjamin bahwa antrean orang akan terus menunggu dan itu tidak akan pernah berakhir.

2.13.1 Model Antrian M/M/1/I/I

Tingkat kedatangan dan layanan distribusi poisson dari type antrian M/M/1/I/I, yang merupakan type sistem antrian digunakan dalam perhitungan penelitian ini, jumlah fasilitas layanan satu, dengan besarnya tingkat kedatangan yang tidak terhingga (Lubis, 2023).

$$nq = \frac{\lambda^2}{\mu(\mu - \lambda)} \quad (2.51)$$

$$nt = \frac{p}{1 - p} \quad (2.52)$$

$$Tq = \frac{\lambda}{\mu(\mu - \lambda)} \quad (2.53)$$

$$W = \frac{1}{\mu - \lambda} \quad (2.54)$$

Keterangan:

- p = Tingkat pelayanan fasilitas
- nq = Jumlah rata-rata pelanggan dalam antrian
- nt = Jumlah rata-rata pelanggan dalam sistem
- Tq = Waktu menunggu rata-rata dalam antrian
- W = Waktu menunggu rata-rata dalam sistem

2.14 Penelitian Terdahulu

Berikut ini ialah studi terdahulu yang dipakai peneliti dalam dasar penentuan dan perhitungan penelitian ini:

1. Cintya, Cindy. Analisis Kinerja U-Turn (Putar-Balik) Di Ruas Jalan Transyogi Cibubur. (2022). Hasil penelitian berhasilnya pemodelan bentuk *u-turn* dalam menurunkan derajat kejenuhan jalan dan penurunan rasio antrian pada *u-turn*.
2. Azhari, Attarik Riefki. Penelitian yang berjudul “Analisis Pengaruh U-Turn (Putar Balik Arah) Terhadap Kemacetan Arus Lalu Lintas Jalan Raya Jakarta – Bogor (Studi Kasus U-Turn Setelah Jalan Layang Ciputat Arah Bogor)”. (2022). Hasil penelitian dikatakan panjang antrian mempengaruhi kinerja ruas jalan tersebut pada aspek kecepatan.
3. Maer, Juliana. Analisis Pengaruh U-Turn Terhadap Karakteristik Arus Lalu Lintas Di Ruas Jalan Robert Wolter Monginsidi Kota Manado. (2019). Dengan skor R² 0,7351, Jalan R. W. Monginsidi di Kota Manado memiliki koefisien determinasi terbesar dengan model Underwood, sehingga paling cocok. Temuan studi menunjukkan keterkaitan Volume (V), Kecepatan (S), Densitas (D).

4. Sholahudin, Farhan dan Nurmayadi, Dicky. Analisis Karakteristik Arus Lalu Lintas Dengan Model *Greenshield*, *Greenberg* Dan *Underwood* Di Ruas Jalan KHZ Musthofa Kota Tasikmalaya. (2021). Kesimpulan penelitian menyatakan menunjukkan bahwa, terlepas dari kesamaan besar dari lingkungan sekitarnya, Setiap ruas jalan memiliki pola arus lalu lintas yang berbeda-beda. Berdasarkan analisis model yang dipilih pada Ruas Jalan KHZ Musthofa, khususnya Model *Greenshield* dengan kecepatan aliran bebas (S_f) = 52,043 km/jam, kemacetan lalu lintas (D_j) = 70,207 smp/km, dan volume maksimum atau kapasitas jalan (V_{max}) = 3.654,088 smp/jam, terbukti dari hasil analisis data bahwa karakteristik lalu lintas paling sesuai untuk kondisi arus di lapangan. Berikut ini adalah susunan model koneksi kecepatan (S) dan densitas (D): $50,96 - (0,666) D$ adalah S . Demikian juga, berikut ini adalah susunan model yang mewakili kaitan volume (V) dan densitas (D): $50,96 D - (0,66) D^2 = V$.

5. Timpal, Greyti. Analisis Kinerja Jalan pada Ruas Jalan Sam Ratulangi Manado dan Analisis Kapasitas Berdasarkan *Greenshield*, *Greenberg*, dan *Underwood Modeling*. (2018). Lokasi studi, Jalan Sam Ratulangi Tanjung Batu, menghasilkan kesimpulan sebagai berikut berdasarkan analisis yang dilakukan di sana: 1. Volume (V), kekencangan (S), dan kerapatan (D) terkait, dan hubungan ini menghasilkan nilai koefisien determinasi (R^2). Tanjung Batu Manado menggunakan tipe *Greenshield* pada Sabtu untuk jalan Sam Ratulangi, yang memiliki nilai R^2 tertinggi 0,7718. Nilai LOS D ($DS = 0,75 - 0,84$) dan nilai kapasitas 2648 skr/jam dihasilkan berdasarkan analisis data situasi ditempat memanfaatkan PKJI 2014.