

2 TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Transportasi

Transportasi adalah pergerakan manusia dan/ atau barang dari tempat yang satu ke tempat yang lain. Pergerakan timbul karena adanya aktifitas didalam masyarakat. Di tempat lain ini manusia dan/ atau barang memiliki tujuan-tujuan tertentu yang bermanfaat (Restu Wahida et al., 2023).

2.2 Persimpangan Jalan

Jalan raya adalah suatu lintasan yang bermanfaat untuk melewati lalu lintas dari suatu tempat ke tempat lain. Jalan raya merupakan prasarana transportasi darat yang memegang peranan penting dalam pendistribusian barang/jasa antar wilayah yang terdapat dalam satu kesatuan. Jalan raya yang memadai sangat dibutuhkan pada perkembangan wilayah agar dapat menunjang kegiatan perekonomian, pemerintah, pengembangan wilayah, dan lain-lain (Aisyah Nur Azizah & Raya Prima, n.d.).

Persimpangan merupakan titik dimana terjadi pertemuan atau percabangan antara banyak jalan, baik sejajar maupun tidak sejajar, yang menjadi bagian dari suatu sistem jaringan jalan. Persimpangan memiliki peran yang penting dalam menentukan kapasitas dan waktu perjalanan dalam jaringan jalan.

Persimpangan perlu diatur dan dikelola dengan baik untuk mencegah masalah seperti kemacetan. Selain itu, tujuan pembuatan persimpangan adalah untuk mengendalikan konflik antara pejalan kaki dan kendaraan. Beberapa masalah yang terkait dengan persimpangan meliputi hal-hal sebagai berikut.

1. Volume dan kapasitas, yang mempengaruhi hambatan
2. Desain geometri jalan dan kebebasan pandang
3. Kecelakaan dan keselamatan
4. Parkir, akses, dan pembangunan umum
5. Pejalan kaki
6. Jarak antar simpang

Berdasarkan Direktorat Jenderal Bina Marga (2023), menjelaskan bahwa persimpangan adalah titik pertemuan antara dua atau lebih ruas jalan, yang dapat berupa simpang, simpang APILL, bundaran, atau simpang tidak sebidang. Lalu lintas pada setiap bagian persimpangan bergerak secara bersama-sama dengan lalu lintas yang lain. Oleh karena itu, persimpangan memiliki peran yang sangat penting dalam menentukan kapasitas dan waktu perjalanan dalam suatu jaringan jalan.

Persimpangan juga merupakan bagian dari sistem lalu lintas darat yang sangat vital, maka dari itu harus di desain berdasarkan peraturan yang berlaku dengan mempertimbangkan efisiensi, keselamatan, kecepatan, biaya operasional, dan kapasitas. Pergerakan lalu lintas dan urutannya dapat diatur dengan berbagai metode, tergantung pada jenis persimpangan yang diperlukan. Tujuan utama dari pembuatan persimpangan adalah untuk mengurangi potensi konflik antar pengguna jalan yang melewati simpang, di sisi lain juga menyediakan kenyamanan dan kemudahan pergerakan maksimal bagi kendaraan (Hilmi Prananda, 2023).

2.3 Jenis Persimpangan

Berdasarkan Direktorat Jenderal Bina Marga (2023), pemilihan jenis persimpangan baru (simpang, simpang APILL, bundaran, atau simpang tak sebidang) harus didasarkan pada analisis biaya siklus hidup (BSH, *life cycle costs*). Grafik BSH pemilihan jenis simpang dapat dilihat pada Gambar 2.1 (Direktorat Jenderal Bina Marga, 2023) sebagai berikut.



Gambar 2.1 Grafik BSH pemilihan jenis persimpangan

Tujuan dari pemilihan jenis persimpangan baru berdasarkan pada analisis biaya siklus hidup (BHS, *life cycle costs*) adalah sebagai berikut.

1. Mengurangi atau menghindari terjadinya kecelakaan dan masalah lain yang disebabkan oleh titik-titik konflik pada simpang.
2. Mengontrol agar kapasitas di persimpangan dapat berjalan secara maksimal.
3. Meminimalkan tundaan.

Secara garis besar persimpangan terbagi menjadi 2 bagian yaitu persimpangan sebidang dan persimpangan tak sebidang.

1. Persimpangan sebidang

Persimpangan sebidang adalah dimana ruas jalan bertemu dengan suatu bidang yang sama. Terdapat beberapa jenis persimpangan yang umum digunakan dalam mendesain persimpangan sebidang pada ruas jalan. Persimpangan tersebut mencakup beberapa jenis, antara lain persimpangan berbentuk huruf T, huruf Y, persimpangan empat kaki, dan persimpangan berkaki banyak. Menurut jenis fasilitas pengatur lalu lintas pada persimpangan sebidang dibagi menjadi 2 bagian, sebagai berikut.

- a. Simpang tak bersinyal

Simpang adalah pertemuan dua atau lebih ruas jalan sebidang dan tidak diatur oleh Alat Pemberi Isyarat Lalu Lintas (APILL). Oleh karena itu, jenis persimpangan ini tidak sesuai untuk diletakkan pada jalan yang mengalami tingkat kepadatan yang sangat tinggi.

- b. Simpang APILL

Simpang APILL yaitu pertemuan dua atau lebih ruas jalan sebidang yang dilengkapi APILL untuk pengaturan lalu lintasnya.

2. Persimpangan tak sebidang

Persimpangan tak sebidang yaitu persimpangan pada ruas jalan dengan ruas jalan yang lainnya tidak saling bertemu pada satu bidang dan memiliki beda tinggi antara keduanya. Contoh dari simpang tak sebidang yaitu pada jalan layang.

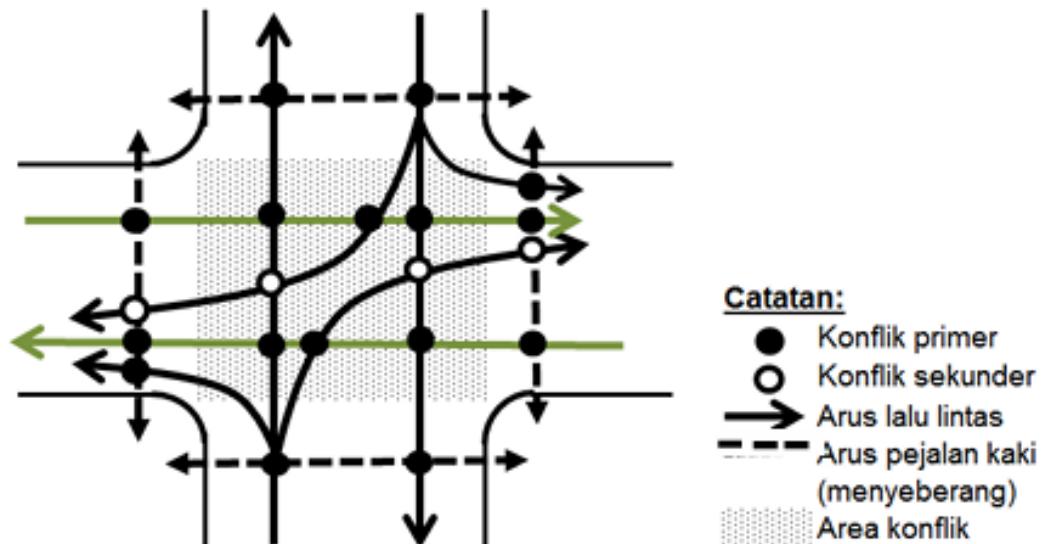
2.4 Pengelompokan Jenis Kendaraan

Arus lalu lintas adalah jumlah kendaraan bermotor yang melalui titik tertentu per satuan waktu, dinyatakan dalam kendaraan per jam atau smp/jam, arus lalu lintas perkotaan tersebut terbagi menjadi empat 4 jenis, yaitu : (Restu Wahida et al., 2023)

1. Kendaraan ringan/*Light vehicle* (LV) Meliputi kendaraan bermotor 2 as beroda empat dengan jarak as 2.0-3.0 m (termasuk mobil penumpang, mikrobis, *pick-up*, truk kecil).
2. Kendaraan berat/*Heavy Vehicle* (HV) Meliputi kendaraan motor dengan jarak as lebih dari 3.5 m biasanya beroda lebih dari empat (termasuk bis, truk 2 as, truk tiga as, dan truk kombinasi).
3. Sepeda Motor/*Motor cycle* (MC) Meliputi kendaraan bermotor roda 2 atau tiga (termasuk sepeda motor dan kendaraan roda tiga).
4. Kendaraan Tidak Bermotor/*Un Motorized* (UM) Meliputi kendaraan beroda yang menggunakan tenaga manusia, hewan, dan lain- lain (termasuk becak, sepeda, kereta kuda, kereta dorong dan lain-lain).

2.5 Konflik Kendaraan

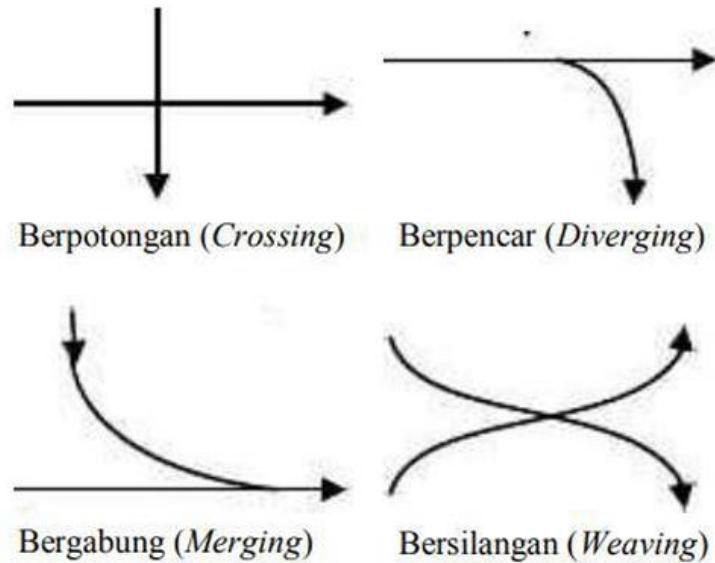
Perilaku kendaraan yang menghasilkan pergerakan arus lalu lintas di suatu persimpangan jalan seringkali menyebakan terjadinya konflik, baik konflik primer maupun konflik sekunder. Konflik primer adalah konflik antara dua arus lalu lintas yang saling berpotongan sedangkan konflik sekunder adalah konflik yang terjadi dari arus lurus yang melawan atau arus membelok yang berpotongan dengan arus lurus atau pejalan kaki yang menyebrang. Tipikal konflik-konflik pada suatu simpang empat dan manuver dari kendaraan dapat dilihat pada Gambar 2.2 (Direktorat Jenderal Bina Marga, 2023) sebagai berikut ini.



Gambar 2.2 Konflik primer dan sekunder pada simpang 4 lengan

Berdasarkan konflik kendaraan diatas ada beberapa gerakan kendaraan (konflik) yang dapat dilihat pada Gambar 2.3 (Suwandi, 2023) dengan penjelasan sebagai berikut.

1. Berpotongan (*crossing*), adalah peristiwa berpotongnya dua buah jalur lalu lintas secara tegak lurus antara arus kendaraan dari satu jalur ke jalur lain pada persimpangan.
2. Berpencar (*diverging*), adalah peristiwa penyebaran arus kendaraan dari satu jalur lalu lintas yang sama ke beberapa arah.
3. Bergabung (*merging*), peristiwa menyatukan arus kendaraan dari beberapa jalur lalu lintas ke satu arah jalur yang sama.
4. Bersilang (*weaving*), adalah peristiwa pertemuan dua arus lalu lintas atau lebih yang berjalan menurut arah yang sama sepanjang suatu lintasan di jalan raya tanpa bantuan rambu lalu lintas.



Gambar 2.3 Jenis Manuver Kendaraan pada Simpang

2.6 Simpang APILL

Direktorat Jenderal Bina Marga (2023) menyatakan bahwa simpang APILL merupakan pertemuan dua atau lebih ruas jalan sebidang yang dilengkapi APILL untuk pengaturan lalu lintasnya. Alat Pemberi Isyarat Lalu Lintas (APILL) merupakan alat yang digunakan untuk mengatur lalu lintas simpang dengan cara meminimalkan konflik, baik konflik primer maupun konflik sekunder dengan memisahkan waktu berjalannya arus.

Penggunaan APILL di persimpangan bertujuan untuk membagi kapasitas secara merata ke berbagai pendekat dengan mengalokasikan waktu hijau pada setiap pendekat. APILL dianggap sebagai metode paling efektif dalam mengatur lalu lintas di persimpangan dengan volume lalu lintas yang relatif tinggi pada setiap kaki simpang.

Direktorat Jenderal Bina Marga (2023) menyatakan beberapa alasan simpang APILL digunakan dengan tujuan untuk mempertahankan kapasitas persimpangan pada jam puncak dan mengurangi kecelakaan akibat tabrakan antar kendaraan dari arah yang berlawanan. Pada umumnya pengaturan lalu lintas dengan menggunakan sinyal digunakan untuk beberapa tujuan sebagai berikut ini.

- a. Menghindari terjadinya kemacetan pada simpang yang disebabkan oleh adanya konflik arus lalu lintas yang dapat dilakukan menjaga kapasitas yang tertentu selama kondisi lalu lintas puncak.
- b. Memberi kesempatan kepada pengendara lain atau pejalan kaki dari jalan simpang yang lebih kecil untuk memotong jalan utama.
- c. Mengurangi terjadinya kecelakaan lalu lintas akibat pertemuan kendaraan yang berlawanan arah atau konflik.

2.6.1 Tipikal Geometri dan Pengaturan Fase

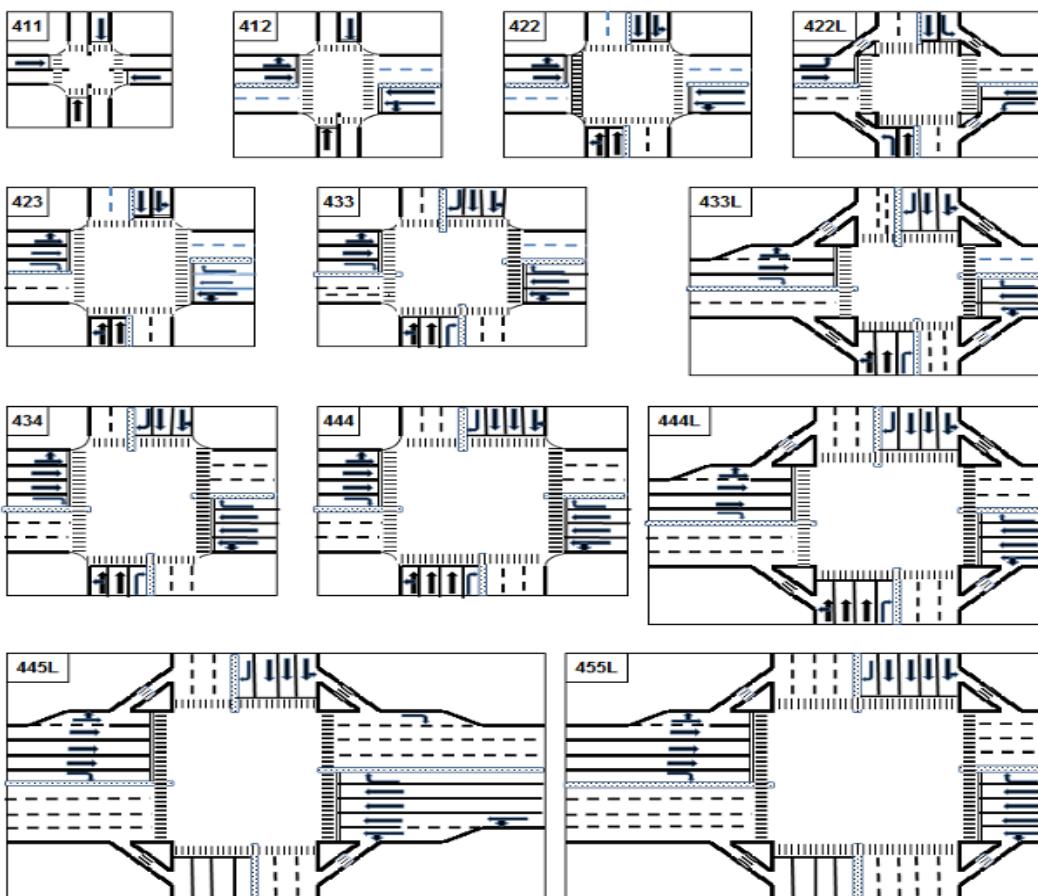
Tipikal geometri adalah bentuk, ukuran, dan susunan elemen fisik suatu ruas jalan atau simpang (termasuk bundaran) yang menggambarkan konfigurasi geometrik standar yang digunakan sebagai acuan perencanaan dan analisis kinerja lalu lintas. Penentuan tipikal geometri dapat dilihat pada Gambar 2.4 dan Gambar 2.5 (Direktorat Jenderal Bina Marga, 2023).

Fase merupakan kondisi dari suatu sinyal APILL dalam satu waktu siklus yang memberikan hak jalan pada satu arah atau lebih dalam persimpangan. Pengaturan fase ditentukan dari tipikal geometri yang dapat dilihat pada Tabel 2.1 atau dapat dilihat pada Gambar 2.6 sampai dengan Gambar 2.8 (Direktorat Jenderal Bina Marga, 2023).

Tabel 2.1 Tipikal Geometri dan Pengaturan Fase

Tipe Simpang APILL	Pendekat Jalan Mayor			Pendekat Jalan Minor			Jenis Fase	
	Jumlah lajur	Median	B_{KIJT}	Jumlah lajur	Median	B_{KIJT}	Bki/Bka (%)	
							10/10	25/25
411	1	Tanpa	Tanpa	1	Tanpa	Tanpa	42	42
412	2	Ada	Tanpa	1	Tanpa	Tanpa	42	42
422	2	Ada	Tanpa	2	Ada	Tanpa	42	42
422L	2	Ada	Ada	2	Ada	Ada	42	42
423	3	Ada	Tanpa	2	Ada	Tanpa	43A	43C
433	3	Ada	Tanpa	3	Ada	Tanpa	44C	44B
433L	3	Ada	Ada	3	Ada	Ada	44A	44B
434	4	Ada	Tanpa	3	Ada	Tanpa	44C	44B
444	4	Ada	Tanpa	4	Ada	Tanpa	44C	44B
44L	4	Ada	Ada	4	Ada	Ada	44C	44B
445	5	Ada	Ada	4	Ada	Ada	44C	44B

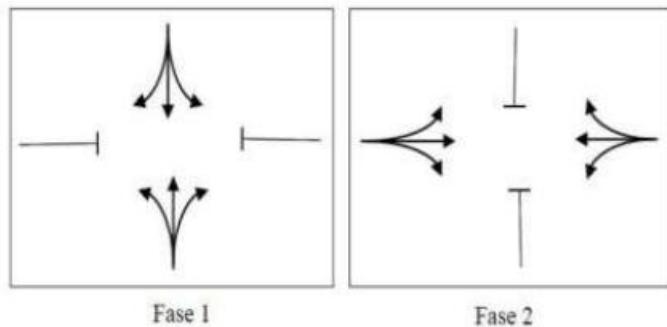
Tipe Simpang APILL	Pendekat Jalan Mayor			Pendekat Jalan Minor			Jenis Fase	
	Jumlah lajur	Median	B_{KIJT}	Jumlah lajur	Median	B_{KIJT}	Bki/Bka (%)	
							10/10	25/25
455L	5	Ada	Ada	5	Ada	Ada	44C	44B
311	1	Tanpa	Tanpa	1	Tanpa	Tanpa	32	32
312	2	Ada	Tanpa	1	Tanpa	Tanpa	32	32
322	2	Ada	Tanpa	2	Ada	Tanpa	32	32
323	3	Ada	Ada	2	Ada	Ada	33	33
333	3	Ada	Tanpa	3	Ada	Tanpa	33	33
333L	3	Ada	Ada	3	Ada	Ada	33	33



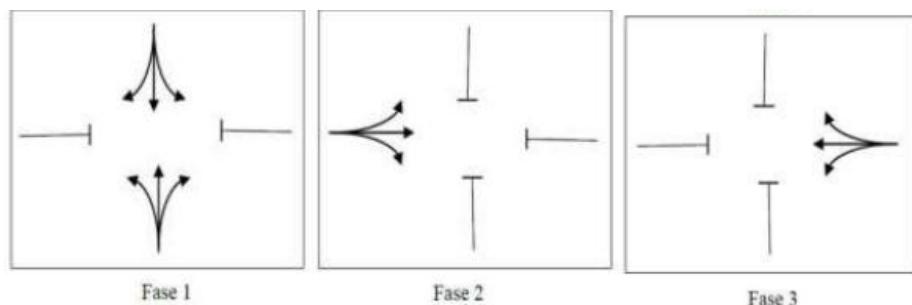
Gambar 2.4 Tipikal Geometri Simpang-4



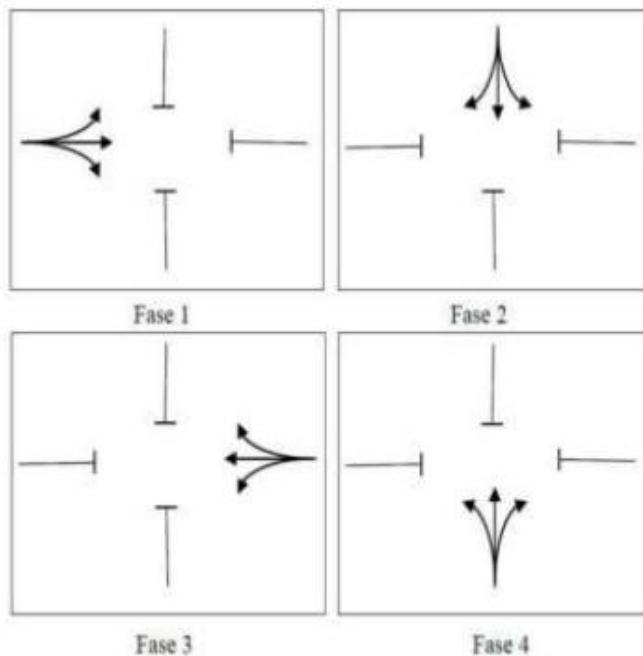
Gambar 2.5 Tipikal Geometri Simpang-3



Gambar 2.6 Simpang dengan 2 Fase



Gambar 2.7 Simpang dengan 3 Fase



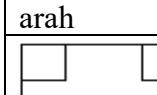
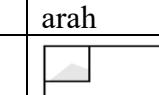
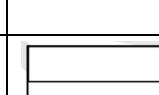
Gambar 2.8 Simpang dengan 4 Fase

2.6.2 Penentuan Lebar Pendekat Efektif

2.6.2.1 Tipe Pendekat

Pada pendekat dengan arus lalu lintas yang berangkat pada fase yang berbeda, maka analisis kapasitas pada masing-masing fase pendekat tersebut harus dilakukan secara terpisah (misal arus lurus dan belok kanan dengan lajur terpisah). Hal yang sama pada perbedaan tipe pendekat, pada satu pendekat yang memiliki tipe pendekat, baik terlindung maupun terlawan (pada fase yang berbeda), maka proses analisisnya harus dipisahkan berdasarkan ketentuan ketentuannya masing-masing. Penentuan tipe pendekat yang digunakan dapat dilihat pada Tabel 2.2 (Direktorat Jenderal Bina Marga, 2023).

Tabel 2.2 Penentuan Tipe Pendekat

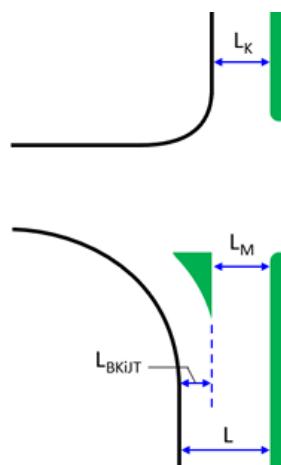
Tipe Pendekat	Keterangan	Contoh Pola-Pola Pendekat		
Terlindungi (Tipe P)	Arus berangkat tidak konflik dengan arus lalu lintas dari arah berlawanan	Jalan satu arah	Jalan satu arah	Simpang-3
				

Tipe Pendekat	Keterangan	Contoh Pola-Pola Pendekat			
Terlawan (Tipe O)	Arus berangkat konflik dengan arus lalu lintas dari arah berlawanan	Jalan dua arah, fase untuk masing-masing arah terpisah			

2.6.2.2 Lebar Pendekat Efektif (L_E)

Penentuan lebar pendekat efektif (L_E) didasarkan pada beberapa parameter yaitu lebar ruas pendekat awal (L), lebar masuk (L_M), dan lebar keluar (L_K). Ada beberapa kondisi dalam menentukan L_M yaitu:

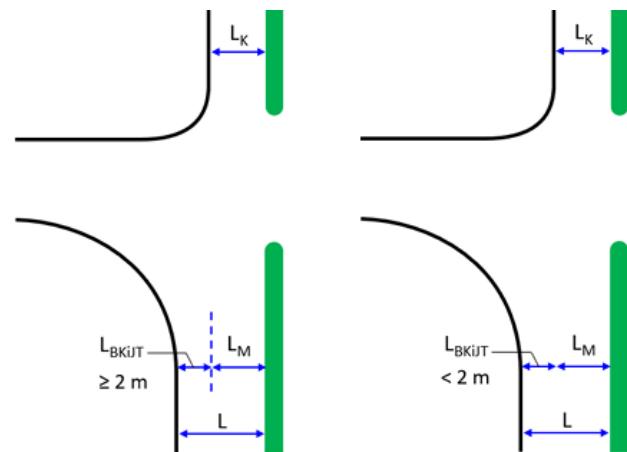
- Untuk pendekat dengan pulau lalu lintas, arus belok kiri memiliki lebar lajur tersendiri sehingga lebar masuk (L_M) merupakan lebar antara tepi pulau lalu lintas dengan median yang ditunjukkan pada Gambar 2.9 (Direktorat Jenderal Bina Marga, 2023).



Gambar 2.9 Lebar Pendekat dengan pulau lalu lintas

- Untuk pendekat tanpa pulau lalu-lintas, arus belok kiri jalan terus bisa membentuk lajur sendiri atau bisa bergabung dengan arus yang lurus tergantung dari ketersediaan ruang kendaraan yang belok kiri. Apabila L_{BKijt}

lebih dari 2 meter maka arus belok kiri dapat membentuk antrian sendiri sehingga $L_M = L - L_{BKijT}$ seperti yang terlihat pada gambar. Sedangkan apabila L_{BKijT} kurang dari 2 meter maka arus belok kiri akan menyatu dengan arus lalu lintas yang lurus seperti yang terlihat pada Gambar 2.10 (Direktorat Jenderal Bina Marga, 2023).



Gambar 2.10 Lebar pendekat tanpa pulau lalu lintas

Lebar efektif (L_E) dapat dihitung dengan menggunakan ketentuan berikut:

- Jika $L_{BKijT} \geq 2$ m atau L_{BKijT} merupakan lajur eksklusif, maka arus kendaraan B_{KijT} dapat mendahului antrian kendaraan lurus dan belok kanan selama isyarat merah. L_E ditetapkan sebagai berikut:

Langkah 1:

Keluarkan arus B_{KijT} (q_{BKijT}) dari perhitungan dan selanjutnya arus yang dihitung adalah $q = q_{LRS} + q_{BKa}$

Tentukan lebar efektif sebagai berikut:

$$L_E = \text{Min} \left\{ \frac{L - L_{BKijT}}{L_M} \right\} \quad (2.1)$$

Langkah 2:

Periksa L_K (hanya untuk pendekat tipe P), jika $L_K < L_M \times (1 - R_{BKa})$, maka $L_E = L_K$, dan analisis penentuan waktu isyarat untuk pendekat ini didasarkan hanya bagian lalu lintas yang lurus saja yaitu q_{LRS} .

- Jika $L_{BKijT} < 2$ m, maka kendaraan B_{KijT} dianggap tidak dapat mendahului antrian kendaraan lainnya selama isyarat merah. L_E ditetapkan sebagai berikut:

Langkah 1:

Sertakan q_{BKijT} pada perhitungan selanjutnya

$$L_E = \min \left\{ \frac{L_M + L_{BKijT}}{L \times (1 + R_{BKijT}) - L_{BKijT}} \right\} \quad (2.2)$$

Langkah 2:

Periksa L_K (hanya untuk pendekat tipe P), jika $L_K < L_M \times (1 - R_{BKa} - R_{BKijT})$, maka $L_E = L_K$, dan analisis penentuan waktu isyarat untuk pendekat ini didasarkan hanya bagian lalu lintas yang lurus saja yaitu q_{LRS} .

2.6.2.3 Ekuivalensi Satuan Mobil Penumpang

Menurut Direktorat Jenderal Bina Marga (2023), satuan mobil penumpang (SMP) satuan untuk arus lalu lintas dimana arus berbagai kendaraan yang berbeda telah diubah menjadi arus mobil penumpang dengan menggunakan nilai ekuivalen mobil penumpang.

Ekuivalensi mobil penumpang (EMP) adalah faktor konversi untuk jenis kendaraan sedang, bus besar, truk besar, dan sepedah motor yang dibandingkan terhadap mobil penumpang sehubungan dengan dampaknya terhadap kapasitas jalan, untuk mobil penumpang dan juga kendaraan ringan yang mirip memiliki nilai EMP 1. Angka ekuivalensi kendaraan penumpang dapat dilihat pada Tabel 2.3 (Direktorat Jenderal Bina Marga, 2023).

Tabel 2.3 Angka Ekuivalensi Kendaraan Penumpang

Jenis Kendaraan	EMP untuk Tipe Pendekat	
	Terlindung	Terlawan
Mobil Penumpang (MP)	1,0	1,0
Kendaraan Sedang (KS)	1,3	1,3
Sepeda Motor (SM)	0,15	0,4

2.6.3 Penentuan Arus Jenuh (J)

Arus jenuh (J) adalah hasil perkalian antara arus jenuh dasar (J_0) dengan faktor-faktor koreksi untuk penyimpangan kondisi eksisting terhadap kondisi ideal. J_0 adalah J pada kondisi arus lalu lintas dan geometri yang ideal, sehingga faktor-

faktor koreksi untuk J_0 adalah satu. J dapat dihitung menggunakan persamaan sebagai berikut.

$$J = J_0 \times F_{HS} \times F_{UK} \times F_G \times F_P \times F_{BK_i} \times F_{BK_a} \quad (2.3)$$

Keterangan:

J : arus jenuh (SMP/jam-hijau)

J_0 : arus jenuh dasar (SMP/jam-hijau)

F_{HS} : faktor koreksi J_0 akibat hambatan samping lingkungan jalan

F_{UK} : faktor koreksi J_0 akibat ukuran kota

F_G : faktor koreksi J_0 akibat kelandaian memanjang pendekat

F_P : faktor koreksi J_0 akibat adanya jarak garis henti pada mulut pendekat terhadap kendaraan yang parkir pertama

F_{BK_i} : faktor koreksi J_0 akibat arus lalu lintas yang membelok ke kiri

F_{BK_a} : faktor koreksi J_0 akibat arus lalu lintas yang membelok ke kanan

2.6.3.1 Arus Jenuh Dasar (J_0)

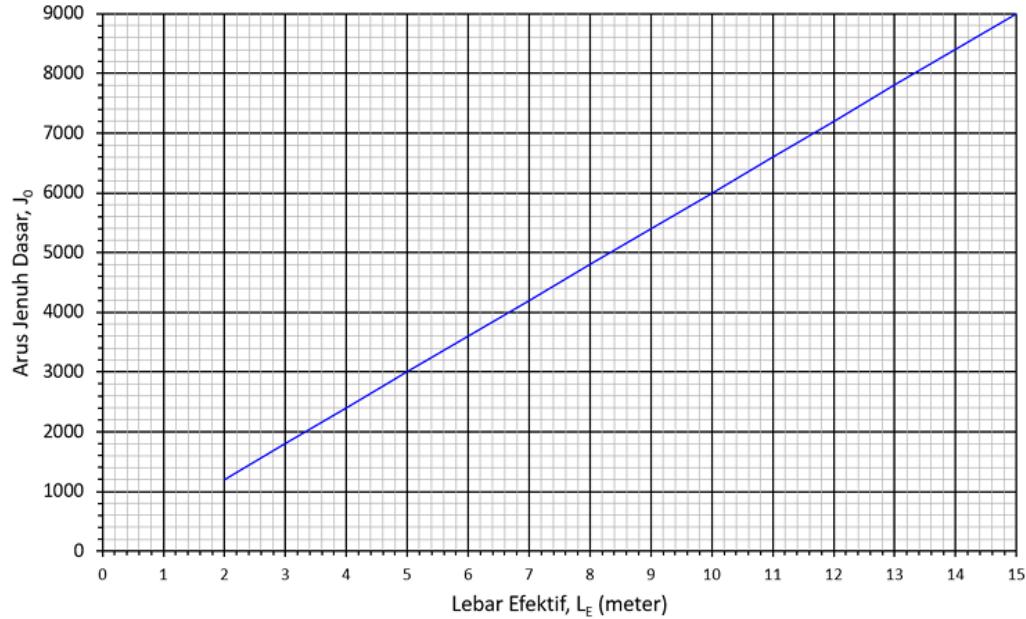
Penentuan nilai dari arus jenuh dasar menurut Direktorat Jenderal Bina Marga (2023) untuk pendekat terlawan (tipe O) arus jenuh dasar ditentukan menggunakan diagram yang ditunjukkan pada Gambar 2.13 sampai dengan Gambar 2.15 (Direktorat Jenderal Bina Marga, 2023). Sedangkan untuk arus jenuh dasar pada Simpang APILL dengan tipe pendekat terlindung (tipe P) maka dapat dihitung menggunakan persamaan sebagai berikut.

$$J_0 = 600 \times L_E \quad (2.4)$$

Keterangan::

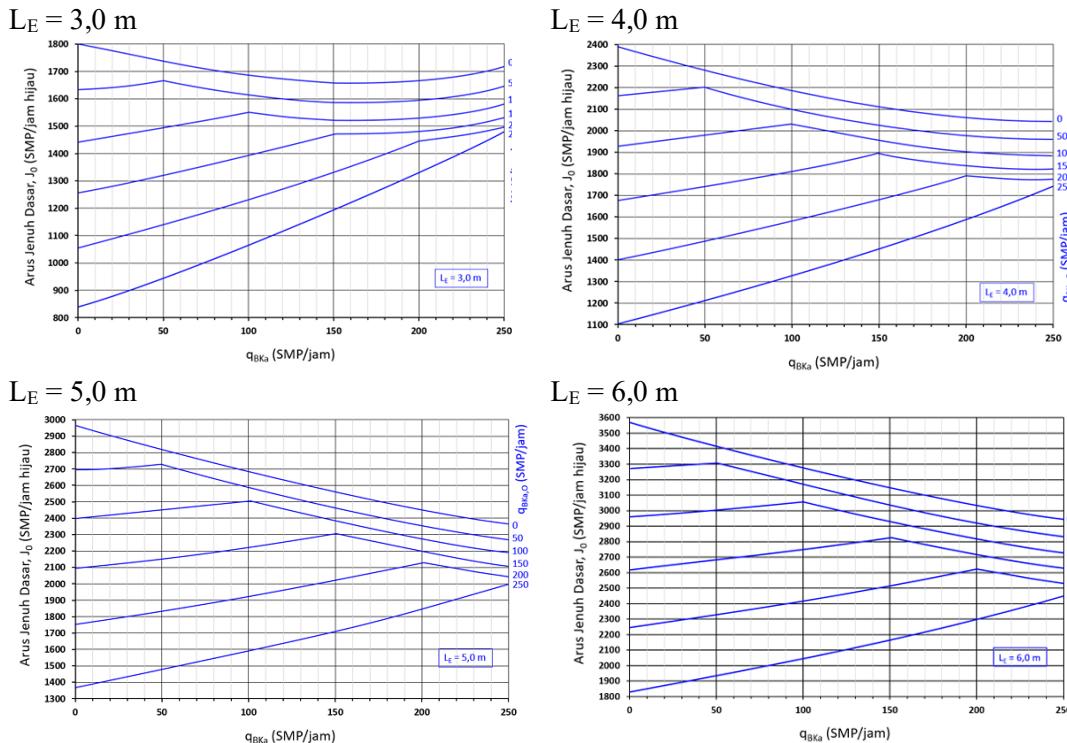
J_0 : arus jenuh dasar (SMP/jam)

L_E : lebar efektif pendekat (m)

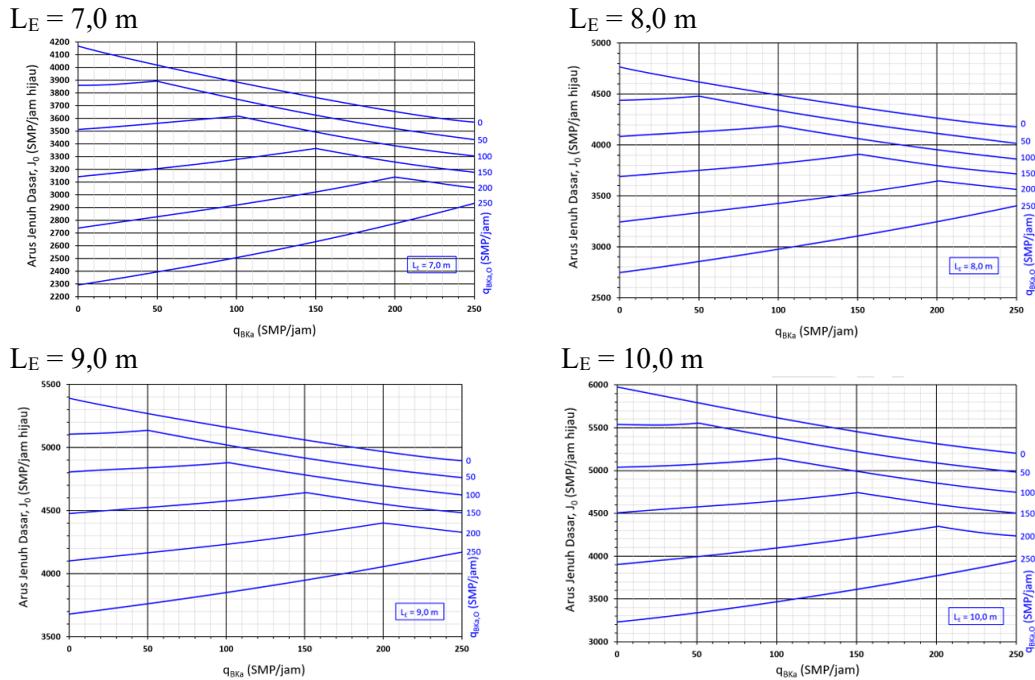


Gambar 2.11 Arus Jenuh Dasar untuk Pendekat Terlindung (Tipe P)

Pendekat Terlawan (Tipe O) tanpa lajur belok kanan terpisah arus jenuh dasar (J_0) dapat ditentukan menggunakan diagram pada Gambar 2.13 dan Gambar 2.13 (Direktorat Jenderal Bina Marga, 2023) menyesuaikan dengan lebar efektif pendekat (L_E).

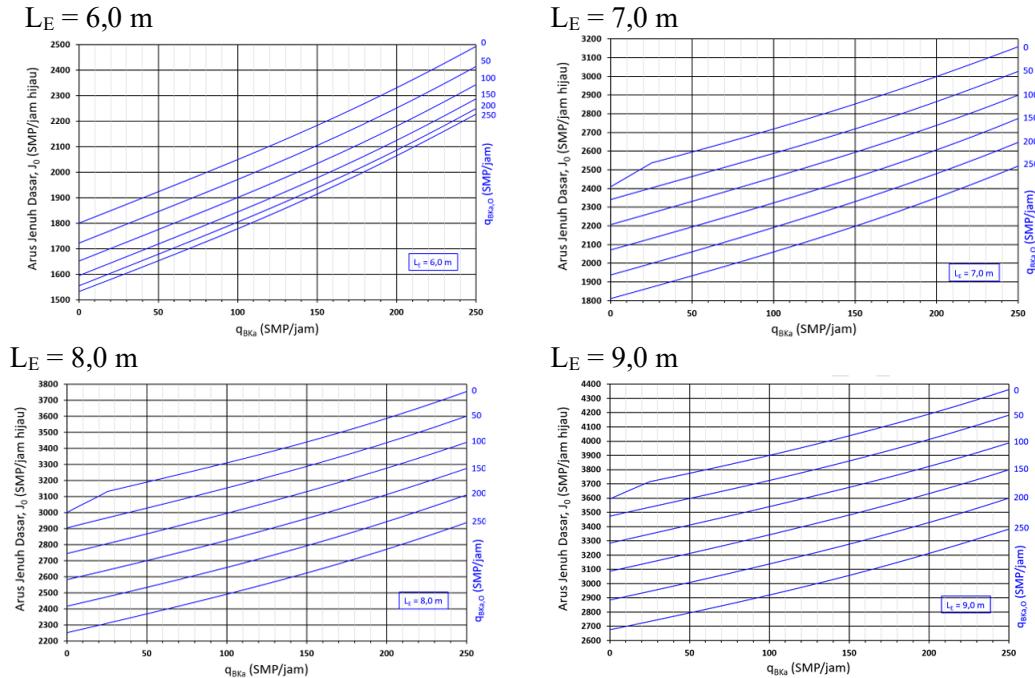


Gambar 2.12 Arus Jenuh Dasar untuk Pendekat Terlawan tanpa lajur belok kanan terpisah

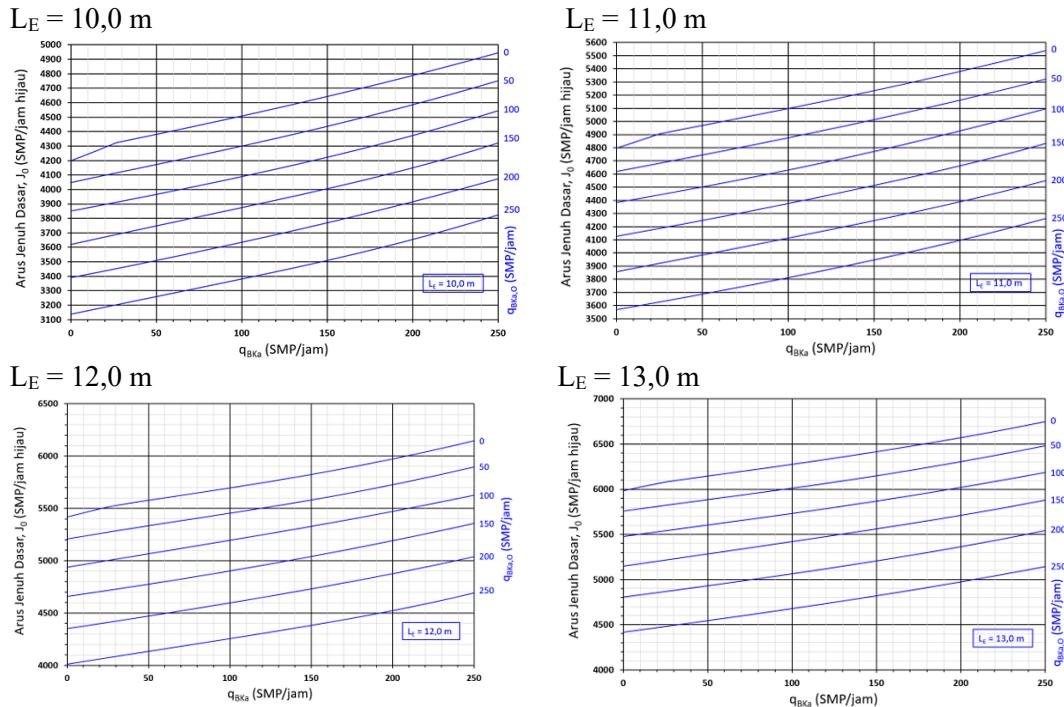


Gambar 2.13 Arus Jenuh Dasar Pendekat Terlawan tanpa lajur belok kanan terpisah (lanjutan)

Pendekat Terlawan yang dilengkapi lajur belok kanan terpisah arus jenuh dasar ditentukan dengan diagram pada Gambar 2.14 dan Gambar 2.15 (Direktorat Jenderal Bina Marga, 2023) menyesuaikan dengan lebar efektif pendekat (L_E).



Gambar 2.14 Arus Jenuh Dasar untuk Pendekat Terlawan yang dilengkapi lajur belok kanan terpisah



Gambar 2.15 Arus Jenuh Dasar untuk Pendekat Terlawan yang dilengkapi lajur belok kanan terpisah (lanjutan)

2.6.3.2 Penentuan Faktor-Faktor Koreksi Arus Jenuh Dasar

1. Faktor Koreksi Ukuran Kota (F_{UK})

Nilai untuk penentuan faktor koreksi ukuran kota (F_{UK}) dapat dilihat pada Tabel 2.4 (Direktorat Jenderal Bina Marga, 2023).

Tabel 2.4 Faktor Koreksi Ukuran Kota

Ukuran Kota	Populasi penduduk (Juta Jiwa)	F_{UK}
Sangat kecil	< 0,1	0,82
Kecil	0,1 – 0,5	0,83
Sedang	0,5 – 1,0	0,94
Besar	1,0 – 3,0	1,00
Sangat besar	>3,0	1,05

2. Faktor Koreksi Hambatan Samping Lingkungan Jalan (F_{HS})

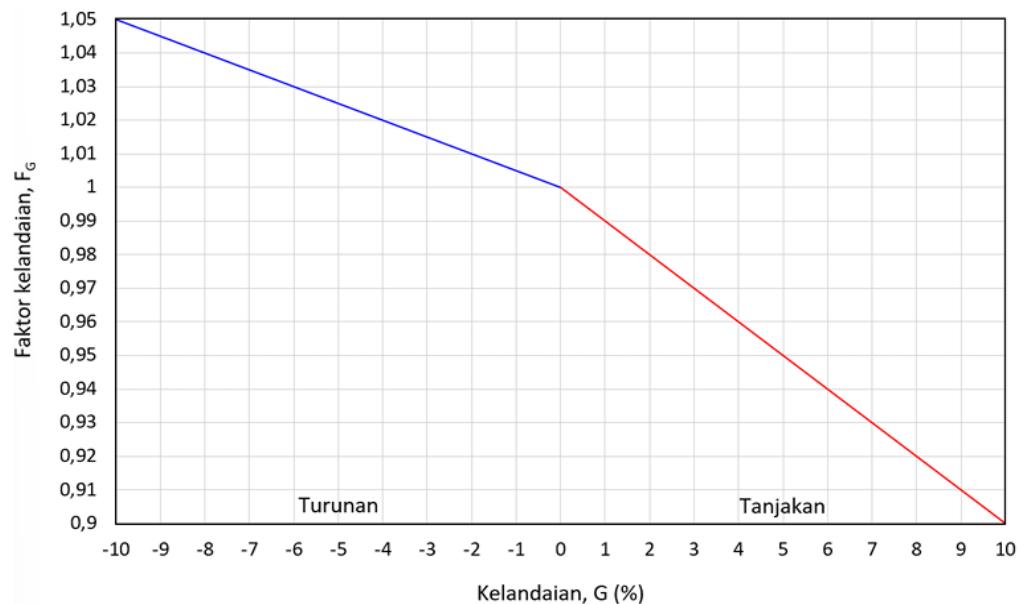
Faktor penyesuaian hambatan samping (F_{HS}) dapat dilihat pada Tabel 2.5 (Direktorat Jenderal Bina Marga, 2023).

Tabel 2.5 Faktor Penyesuaian Hambatan Samping

Lingkungan	Hambatan Samping	Tipe Fase	Rasio kendaraan tak bermotor					
			0,00	0,05	0,10	0,15	0,2	>0,25
Komersial (COM)	Tinggi	Terlawan	0,93	0,91	0,88	0,87	0,85	0,81
		Terlindung	0,93	0,88	0,84	0,79	0,74	0,70
	Sedang	Terlawan	0,94	0,89	0,85	0,80	0,75	0,71
		Terlindung	0,94	0,92	0,89	0,88	0,86	0,82
	Rendah	Terlawan	0,95	0,90	0,86	0,81	0,76	0,72
		Terlindung	0,95	0,93	0,90	0,89	0,87	0,83
Pemukiman (RES)	Tinggi	Terlawan	0,96	0,91	0,86	0,81	0,78	0,72
		Terlindung	0,96	0,94	0,92	0,89	0,86	0,84
	Sedang	Terlawan	0,97	0,92	0,87	0,82	0,79	0,73
		Terlindung	0,97	0,95	0,93	0,90	0,87	0,85
	Rendah	Terlawan	0,98	0,93	0,88	0,83	0,80	0,74
		Terlindung	0,98	0,96	0,94	0,91	0,88	0,86
Akses Terbatas	Tinggi	Terlawan	1,0	0,95	0,90	0,85	0,80	0,75
	Rendah	Terlindung	1,0	0,98	0,95	0,93	0,90	0,88

3. Faktor Koreksi Penyesuaian Kelandaian (F_G)

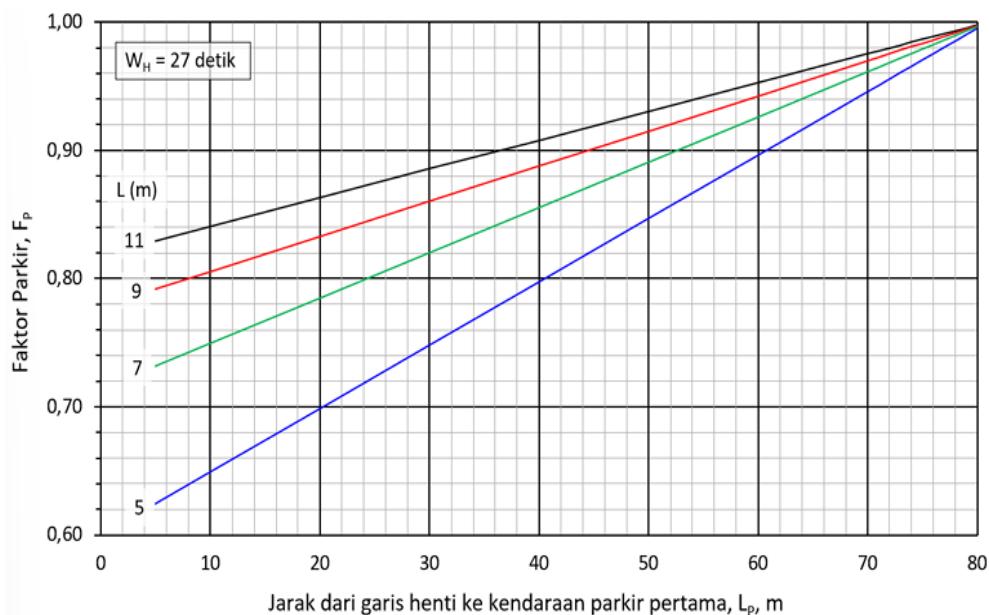
Faktor penyesuaian kelandaian (F_G) yaitu fungsi dari kelandaian lengan simpang yang ditentukan dari Gambar 2.16 (Direktorat Jenderal Bina Marga, 2023).



Gambar 2.16 Faktor Penyesuaian Kelandaian

4. Faktor Koreksi Penyesuaian Parkir (F_p)

Faktor penyesuaian parkir (F_p) adalah jarak dari garis henti ke kendaraan yang parkir pertama dan lebar *approach*. Faktor ini berlaku juga untuk kasus-kasus dengan panjang lajur belok kiri terbatas. Faktor ini tidak perlu diaplikasikan jika lebar efektif ditentukan oleh lebar keluar. Faktor penyesuaian parkir dapat dilihat pada Gambar 2.17 (Direktorat Jenderal Bina Marga, 2023).



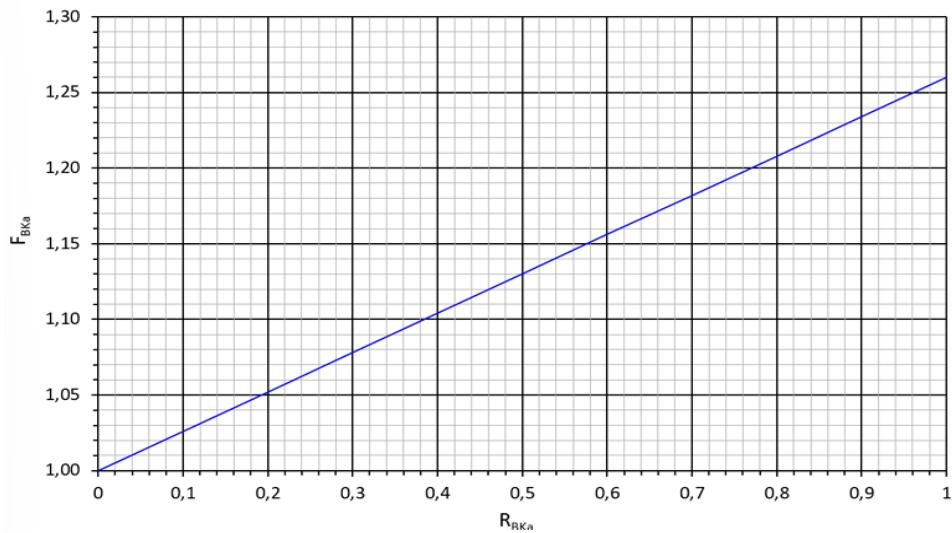
Gambar 2.17 Faktor Penyesuaian Parkir

5. Faktor Koreksi Penyesuaian Belok Kanan (F_{BKa})

Faktor penyesuaian belok kanan (F_{BKa}) diketahui rasio kendaraan yang belok kanan (R_{BKa}), perhitungan ini hanya berlaku untuk pendekat Tipe P, tanpa median, tipe jalan dua arah, dan lebar efektif ditentukan oleh lebar masuk. Untuk mendapatkan nilai dari F_{BKa} dapat dihitung menggunakan persamaan atau dilihat pada Gambar 2.18 (Direktorat Jenderal Bina Marga, 2023).

$$R_{BKa} = \frac{q_{BKa}}{q_{Total}} \quad (2.5)$$

$$F_{BKa} = 1,0 + R_{BKa} \times 0,26 \quad (2.6)$$



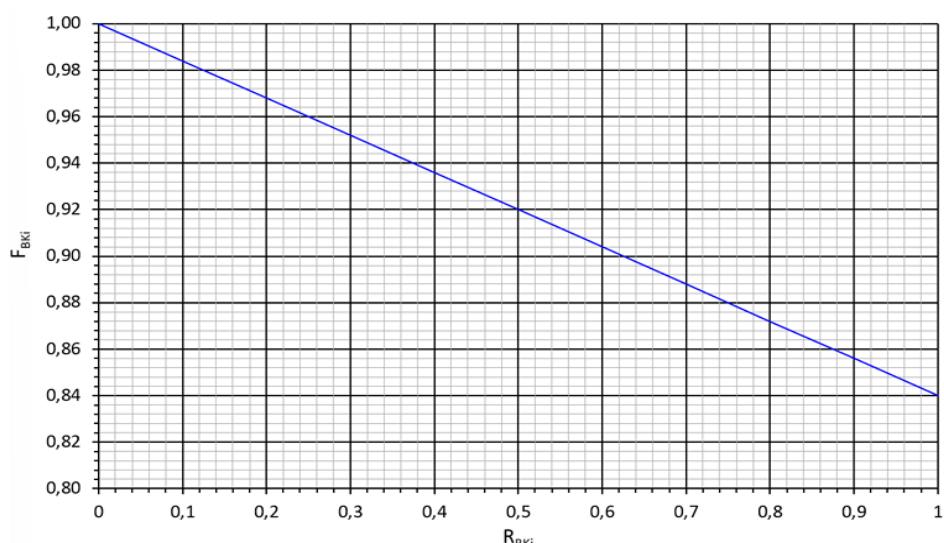
Gambar 2.18 Faktor Penyesuaian Belok Kanan pada pendekat tipe P

6. Faktor Koreksi Penyesuaian Belok Kiri (F_{BKi})

Faktor penyesuaian belok kiri (F_{BKi}) diketahui rasio kendaraan yang belok kiri (R_{BKi}), perhitungan ini hanya berlaku untuk pendekat Tipe P tanpa B_{KijT} , lebar efektif ditentukan oleh lebar masuk. Untuk mendapatkan nilai dari F_{BKi} dapat dihitung menggunakan persamaan atau dilihat pada Gambar 2.19 (Direktorat Jenderal Bina Marga, 2023).

$$R_{BKi} = \frac{q_{BKi}}{q_{Total}} \quad (2.7)$$

$$F_{BKi} = 1,0 - R_{BKi} \times 0,16 \quad (2.8)$$



Gambar 2.19 Faktor Penyesuaian Belok Kiri pada Pendekat Tipe P

2.6.3.3 Rasio Arus terhadap Arus Jenuh

Dalam menganalisis rasio arus terhadap arus jenuh, R_q/J perlu diperhatikan bahwa:

- Jika arus B_{KijT} harus dipisahkan dari analisis, maka hanya arus lurus dan belok kanan saja yang dihitung sebagai nilai q
- Jika $L_E=L_K$, maka hanya arus lurus saja yang masuk dalam nilai q
- Jika pendekat mempunyai 2 (dua) fase, yaitu fase kesatu untuk arus terlawan (O) dan fase kedua untuk arus terlindung (P), maka arus gabungan dihitung dengan pembobotan seperti proses perhitungan arus jenuh yaitu dengan persamaan sebagai berikut.

$$J_{1+2} = \frac{J_1 \times W_{H1} + J_2 \times W_{H2}}{W_{H1} + W_{H2}} \quad (2.9)$$

Rasio arus terhadap arus jenuh (R_q/J) dapat dihitung menggunakan persamaan sebagai berikut.

$$R_{q/J} = \frac{q}{J} \quad (2.10)$$

2.6.4 Waktu Isyarat APILL

Pengaturan APILL harus dilengkapi dengan lampu kuning dan isyarat lampu merah semua. Urutan perubahan isyarat pada sistem pengaturan APILL meliputi s , W_K , W_{AH} , W_M , W_{MS} , dan W_H .

2.6.4.1 Waktu Antar Hijau

Waktu Antar Hijau (*intergreen*) adalah waktu antara berakhirnya lampu hijau pada satu fase dan dimulainya hijau pada fase berikutnya. Waktu antar hijau dapat ditentukan menggunakan Tabel 2.6 (Direktorat Jenderal Bina Marga, 2023).

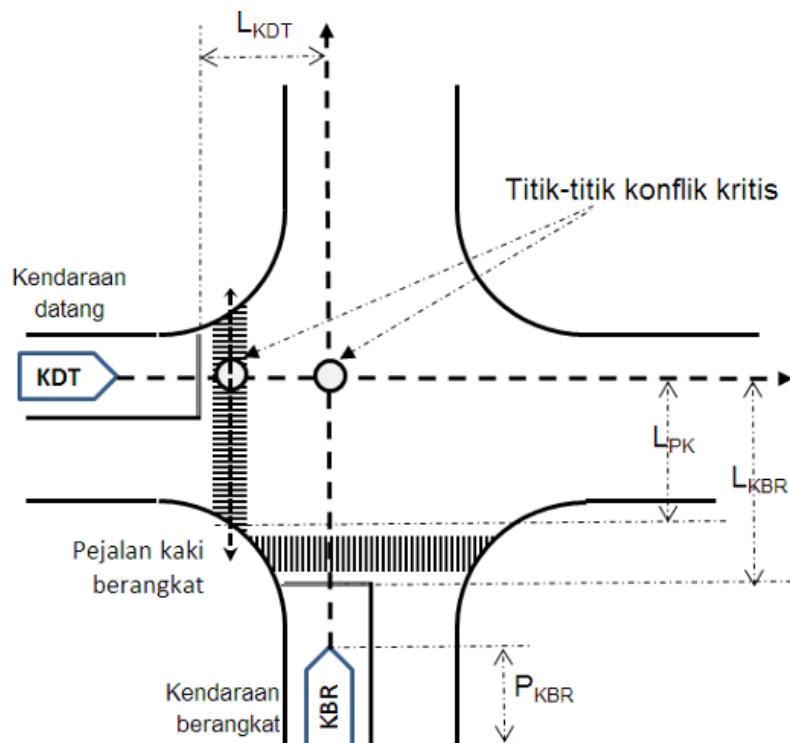
Tabel 2.6 Nilai Normal Waktu Antar Hijau

Ukuran Simpang	Lebar Jalan Rata-Rata (m)	Nilai normal W_{AH} (det.fase)
Kecil	6 sampai kurang dari 10	4

Ukuran Simpang	Lebar Jalan Rata-Rata (m)	Nilai normal W_{AH} (det.fase)
Sedang	10 sampai kurang dari 15	5
Besar	Lebih dari atau sama dengan 15	≥ 6

2.6.4.2 Waktu Merah Semua (W_{MS}) dan waktu Hijau Hilang Total (W_{HH})

Menurut Direktorat Jendral Bina Marga (2023) menyatakan definisi mengenai waktu siklus dan lingkupnya meliputi, waktu siklus (*Cycle Time*) yaitu waktu selama satu urutan lengkap dari fase sebuah sinyal lalu lintas di mana satunya dalam detik. Kemudian fase (*Phase*) yaitu merupakan satu tahapan sinyal dalam periode waktu tertentu di mana satu atau lebih pergerakan lalu lintas diberikan kesempatan untuk bergerak. Waktu siklus optimal (*Optimum cycle time, Co*) yaitu waktu siklus yang memberikan nilai minimum untuk parameter kinerja yang dipilih seperti tundaan, panjang antrean dan juga jumlah stop per detik. Waktu hilang (*Lost time, I*) yaitu periode waktu yang secara efektif. Waktu siklus dan waktu hijau terbagi menjadi dua bagian dapat dilihat pada Gambar 2.20 (Direktorat Jenderal Bina Marga, 2023).



Gambar 2.20 Titik konflik kritis dan jarak untuk keberangkatan dan kedatangan

Titik konflik kritis pada masing-masing fase (i) adalah titik yang menghasilkan W_{MS} terbesar. W_{MS} per fase dipilih yang terbesar dari dua hitungan waktu lintasan, yaitu kendaraan berangkat dan pejalan kaki. Hitung W_{MS} menggunakan persamaan sebagai berikut.

$$W_{MS} = \text{Max} \left\{ \frac{\frac{L_{KBR} + P_{KBR}}{V_{KBR}} - \frac{L_{KDT}}{V_{KDT}}}{\frac{L_{PK}}{V_{PK}}} \right\} \quad (2.11)$$

Nilai-nilai V_{KBR} , V_{KDT} , dan P_{KBR} tergantung dari kondisi lokasi setempat. Nilai-nilai berikut ini dapat digunakan sebagai pilihan jika nilai baku tidak tersedia.

$$V_{KDT} = 10 \text{ m/det (kendaraan bermotor)}$$

$$V_{KBR} = 10 \text{ m/det (kendaraan bermotor); } 3 \text{ m/det (kendaraan tidak bermotor, misalnya sepeda); } 1,2 \text{ m/det (pejalan kaki)}$$

$$P_{KBR} = 5 \text{ m (MP atau KS); } 2 \text{ m (SM atau KTB)}$$

Apabila periode W_{MS} untuk masing-masing akhir fase telah ditetapkan, maka waktu hijau hilang total (W_{HH}) untuk simpang APILL untuk setiap siklus dapat dihitung sebagai jumlah dari waktu hijau menggunakan persamaan berikut.

$$W_{HH} = \sum_i (W_{MS} + W_K)_i \quad (2.12)$$

Keterangan:

W_{MS} : waktu merah semua (detik)

W_K : waktu kuning (detik)

Panjang waktu kuning pada APILL di kota-kota Indonesia biasanya ditetapkan 3,0 detik. Untuk simpang APILL dengan area geometri yang luas dan kurang ideal, maka sebaiknya dihitung.

2.6.4.3 Waktu Siklus dan Waktu Hijau

Waktu isyarat terdiri dari waktu siklus (s) dan waktu hijau (W_H). Tahap pertama adalah penentuan waktu siklus untuk sistem kendali waktu tetap yang dapat

dilakukan menggunakan rumus Webster (1966). Rumus ini bertujuan meminimumkan tundaan total. Tahap selanjutnya adalah menetapkan waktu hijau (W_H) pada masing-masing fase (i) menggunakan persamaan berikut.

$$W_{Hi} = (s - W_{HH}) \times \frac{R_{q/J\text{kritis}}}{\sum_i (R_{q/J\text{kritis}})_i} \quad (2.13)$$

Keterangan:

W_{Hi} : waktu hijau pada fase i (detik)

i : indeks untuk fase ke-i

$R_{q/J\text{kritis}}$: nilai rasio arus tertinggi dari semua pendekat yang berangkat pada fase yang sama

$\sum R_{q/J\text{kritis}}$: rasio arus simpang (sama dengan jumlah semua $R_{q/J\text{kritis}}$ dari semua fase) pada siklus tersebut

Waktu siklus sebelum penyesuaian ditetapkan menggunakan persamaan. sedangkan waktu siklus yang layak ditunjukkan pada Tabel 2.7 (Direktorat Jenderal Bina Marga, 2023).

$$s = \frac{(1,5 \times W_{HH} + 5)}{(1 - \sum R_{q/J\text{kritis}})} \quad (2.14)$$

Keterangan:

s : waktu siklus (detik)

W_{HH} : jumlah waktu hijau hilang per siklus (detik)

$R_{q/J}$: rasio arus

Tabel 2.7 Waktu Siklus (s) yang layak

Tipe Pengaturan	s yang layak (detik)
Pengaturan dua-fase	40-80
Pengaturan tiga-fase	50-100
Pengaturan empat-fase	80-130

2.6.5 Perhitungan Kinerja Lalu Lintas Simpang APILL

2.6.5.1 Kapasitas Simpang APILL

Kapasitas simpang APILL merupakan kemampuan suatu persimpangan untuk menampung jumlah maksimum arus lalu lintas dalam satu satuan waktu. Kapasitas ini biasanya diukur dalam satuan SMP/jam hijau. Kapasitas sebuah simpang APILL dinyatakan dengan persamaan sebagai berikut.

$$C = J \times \frac{W_H}{s} \quad (2.15)$$

Keterangan:

C : kapasitas Simpang APILL (SMP/jam)

J : arus jenuh (SMP/jam)

W_H : total waktu hijau dalam satu siklus (detik)

2.6.5.2 Derajat Kejemuhan

Derajat kejemuhan (D_J) yaitu rasio arus lalu lintas terhadap kapasitas untuk suatu pendekat. Derajat kejemuhan dinyatakan dalam persamaan sebagai berikut.

$$D_J = \frac{q}{C} \quad (2.16)$$

Keterangan:

D_J : derajat kejemuhan

q : volume lalu lintas (SMP/jam)

C : kapasitas segmen jalan (SMP/jam)

2.6.5.3 Panjang Antrian

Menurut Direktorat Jenderal Bina Marga (2023), panjang antrian yaitu jumlah suatu kendaraan yang mengantre dalam suatu pendekat simpang yang dinyatakan dalam kendaraan atau satuan mobil penumpang (SMP).

Ketika melakukan perhitungan, hasil dari perhitungan derajat kejemuhan digunakan untuk menghitung jumlah SMP yang tersisa dari fase hijau sebelumnya

(N_{q1}) yang tersisa dari fase hijau sebelumnya. Jumlah rata-rata antrean kendaraan (SMP) pada awal isyarat lampu hijau (N_q) dapat dihitung dengan menambahkan jumlah kendaraan terhenti (SMP) yang tersisa dari fase hijau sebelumnya (N_{q1}) perhitungan analisisnya dijelaskan pada persamaan sebagai berikut.

Untuk $D_J > 0,5$

$$N_q = N_{q1} + N_{q2} \quad (2.17)$$

Untuk $D_J \leq 0,5$ maka $N_{q1} = 0$

$$N_{q1} = 0,25 \times s \times \left\{ (D_J - 1) + \sqrt{(D_J - 1)^2 + \frac{8 \times (D_J - 0,5)}{s}} \right\} \quad (2.18)$$

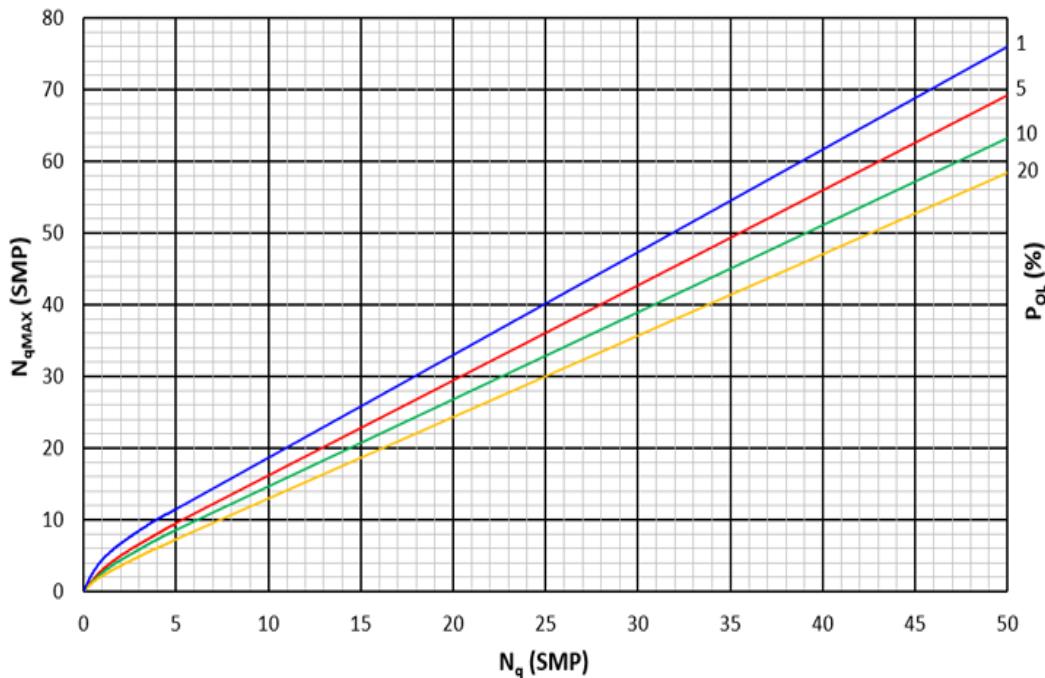
Jumlah kendaraan (SMP) yang datang dan terhenti dalam antrean selama fase merah (N_{q2}). Perhitungan analisisnya dijelaskan pada persamaan sebagai berikut.

$$N_{q2} = s \times \frac{(1-R_H)}{(1-R_H \times D_J)} \times \frac{q}{3600} \quad (2.19)$$

Panjang antrian (P_a) dapat diperoleh dengan mengalikan jumlah rata-rata antrian kendaraan (N_q) dalam satuan SMP dengan luas area rata-rata yang digunakan oleh satuan mobil penumpang (SMP), yang diasumsikan sebesar 20 m^2 , kemudian dibagi dengan lebar masuk (m). Perhitungannya dapat menggunakan persamaan sebagai berikut.

$$P_a = N_q \times \frac{20}{L_M} \quad (2.20)$$

Untuk nilai dari NQ_{MAX} diperoleh dengan cara menghubungkan nilai NQ_{Total} dengan probabilitas overloading Pol (%). Disarankan Pol = 5-10%. Nilai dari NQ_{MAX} dapat dilihat dalam Gambar 2.21 (Direktorat Jenderal Bina Marga, 2023).



Gambar 2.21 Penentuan Jumlah Antrian Rata-rata

2.6.5.4 Rasio Kendaraan Henti (R_{KH})

Rasio kendaraan henti (R_{KH}) yaitu rasio kendaraan pada pendekat yang harus berhenti akibat isyarat merah sebelum melewati suatu Simpang APILL terhadap jumlah arus pada fase yang sama pada pendekat tersebut. Rasio kendaraan henti (R_{KH}) dapat dihitung menggunakan persamaan sebagai berikut.

$$R_{KH} = 0,9 \times \frac{N_q}{q \times s} \times 3600 \quad (2.21)$$

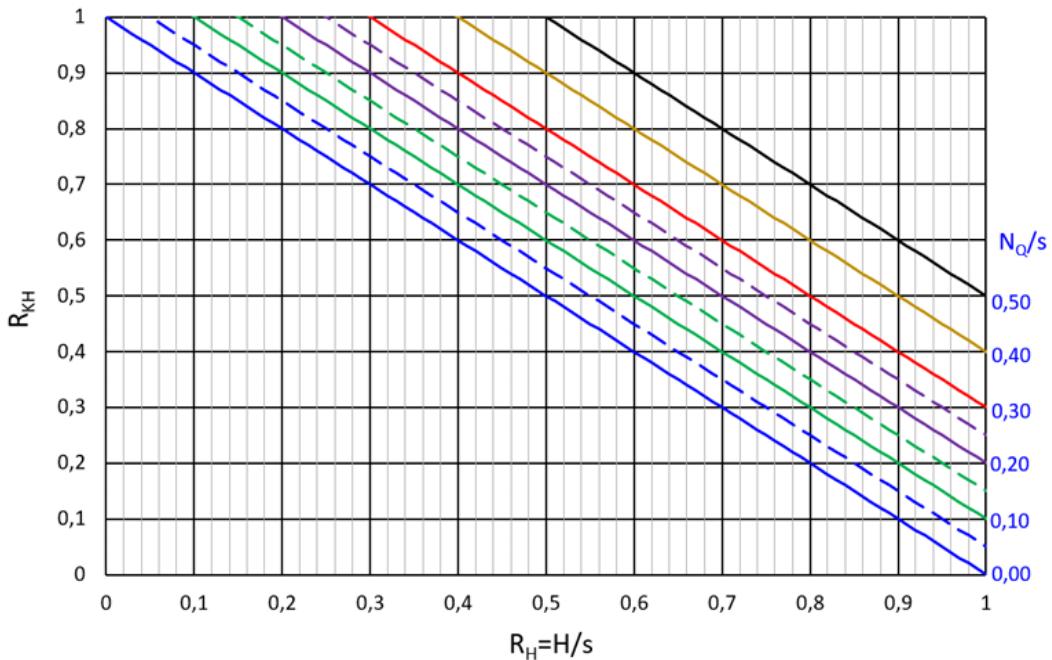
Keterangan:

N_q : jumlah rata-rata antrean kendaraan (SMP) pada awal isyarat hijau

s : waktu siklus (detik)

q : arus lalu lintas dari pendekat yang ditinjau (SMP/jam)

Penentuan Rasio Kendaraan Henti (R_{KH}) juga dapat dilakukan menggunakan Gambar 2.22 (Direktorat Jenderal Bina Marga, 2023).



Gambar 2.22 Penentuan Rasi Kendaraan Terhenti

Jumlah rata-rata kendaraan berhenti (N_{KH}) adalah jumlah total rata-rata kendaraan yang berhenti (termasuk berhenti berulang dalam antrean) sebelum melintasi simpang APILL. Perhitungannya dapat dilakukan menggunakan persamaan sebagai berikut.

$$N_{KH} = q \times R_{KH} \quad (2.22)$$

2.6.5.5 Tundaan

Tundaan adalah waktu tempuh tambahan yang digunakan pengemudi untuk melalui suatu Simpang APILL. Tundaan ini terdiri dari dua jenis yaitu:

1. Tundaan Lalu Lintas (T_{LL})

Tundaan lalu lintas yaitu waktu menunggu yang disebabkan kondisi lalu lintas yang terjadi gerakan lalu lintas yang bertentangan. Perhitungan Tundaan lalu lintas rata-rata tiap pendekat bisa dilihat pada persamaan berikut.

$$T_{LL} = s \times \frac{0,5 \times (1 - R_H)^2}{(1 - R_H \times D_J)} + \frac{N_{q1} \times 3600}{C} \quad (2.23)$$

2. Tundaan Geometri (T_G)

Tundaan geometri terjadi ketika kendaraan mengalami perlambatan dan percepatan saat melintasi simpang atau saat terhenti oleh lampu merah. Tundaan geometri simpang masing-masing pendekat dihitung dengan persamaan berikut.

$$T_G = (1 - R_{KH}) \times P_B \times 6 + (R_{KH} \times 4) \quad (2.24)$$

Keterangan:

P_B : Porsi kendaraan membelok pada suatu pendekat

3. Tundaan Rata-Rata (T_i)

Tundaan rata-rata untuk suatu pendekat i dapat dihitung menggunakan persamaan berikut.

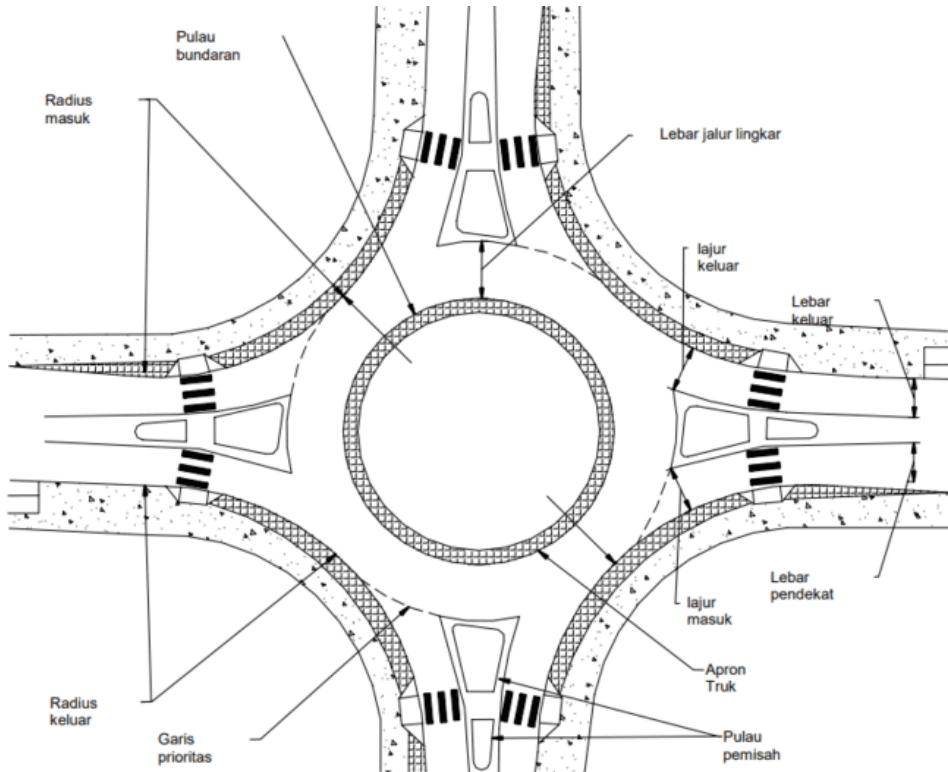
$$T_i = T_{LLi} + T_{Gi} \quad (2.25)$$

2.7 Bagian Jalinan Majemuk atau Bundaran

Bundaran adalah tata letak jalan yang berbentuk lingkaran dengan pulau di tengahnya yang memungkinkan arus lalu lintas bergerak tanpa berhenti. Diameter, lebar lapisan jalan, radius bundaran adalah komponen struktur geometris bundaran. Geometrik bundaran dirancang dengan mempertimbangkan arus lalu lintas yang akan melewatkannya (Yudhajakti, 2025a).

Bagian jalinan adalah jenis simpang di mana kendaraan yang akan memasuki bundaran harus memberi prioritas kepada kendaraan yang sudah berada di dalam bundaran. Konsep ini berbeda dengan simpang konvensional yang mengandalkan prioritas berdasarkan arah atau pengaturan sinyal. Contoh bagian jalinan bundaran dapat dilihat pada Gambar 2.23 (Departemen Permukiman dan Prasarana Wilayah, 2004).

Bundaran dapat dianggap sebagai kasus istimewa dari kanalisasi. Karena pulau ditengahnya dapat bertindak sebagai pengontrol, pembagi, dan pengarah bagi sistem lalu lintas satu arah. Pada cara ini gerakan penyilangan hilang dan digantikan dengan gerakan menyiap berpindah-pindah jalur (Lucky, 2017).



Gambar 2.23 Bagian/Elemen Geometri Jalinan Bundaran

2.7.1 Aturan Lalu Lintas

Bagian jalinan dikendalikan dengan aturan lalu lintas yang berlaku di Indonesia yaitu memberi jalan kepada yang kendaraan yang ada di kirinya (yang berlaku di negara-negara Eropa, pada umumnya mendahulukan kepada kendaraan yang ada di sebelah kanan). Rentang variasi tersebut ditunjukkan pada Tabel 2.8 (Direktorat Jenderal Bina Marga, 2023).

Tabel 2.8 Rentang variasi data empiris untuk variabel masukan

Variabel	Bundaran		
	Min.	Rata-rata	Maks.
Lebar pendeket, meter	6	9	11
Lebar jalinan, meter	9	12,6\	20
Panjang jalinan, meter	21	33,9	50
Lebar/panjang	0,22	0,43	0,80
Rasio jalinan	0,32	0,76	0,94
%-kendaraan ringan	35	60	75

Variabel	Bundaran		
	Min.	Rata-rata	Maks.
%-Kendaraan berat	0	2	3
%-Sepeda motor	20	33	55
Rasio kendaraan tak bermotor	0,01	0,05	0,18

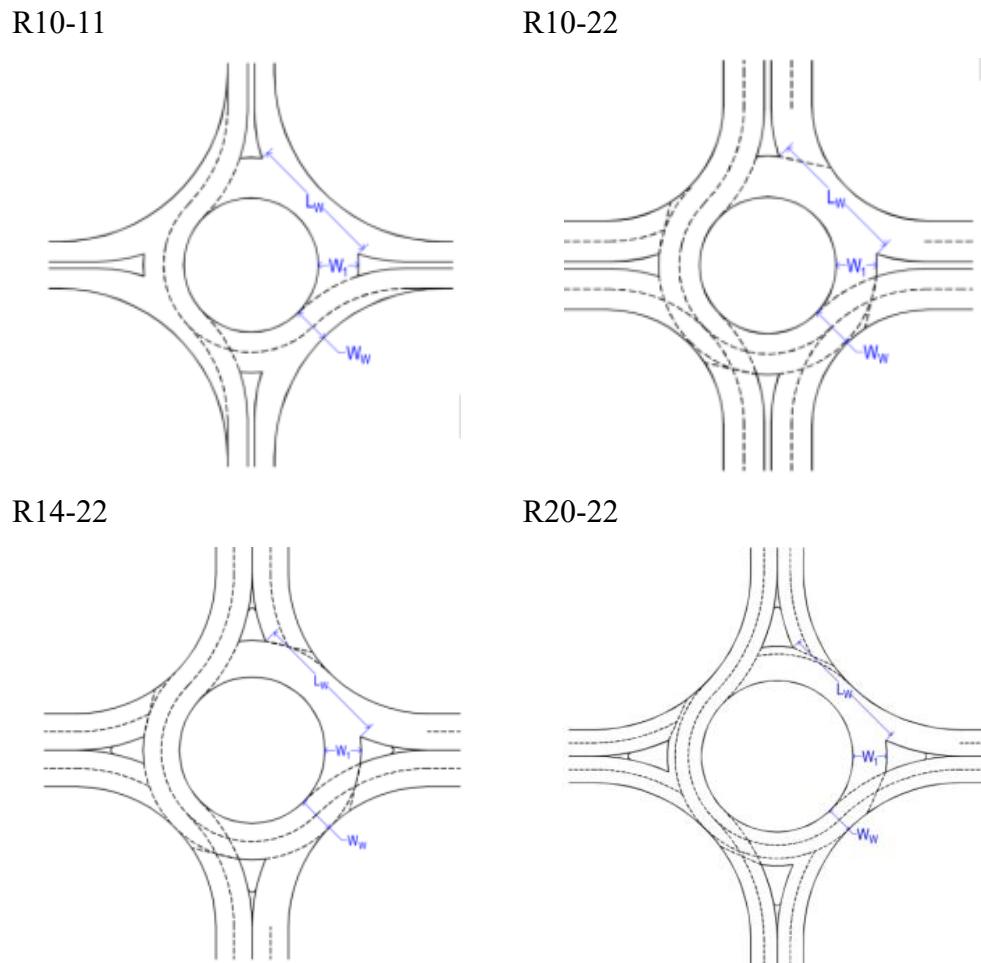
2.7.2 Kriteria Desain Bundaran

Pemilihan jenis persimpangan baru (simpang/simpang APILL/bundaran) didasarkan pada analisis BSH. Pemilihan bundaran harus memenuhi ketentuan PKJI tahun 2023 yaitu:

1. Lalu Lintas Harian Rata-Rata Tahunan (LHRT)
2. Faktor K adalah faktor penyesuaian hambatan samping atau faktor yang memperhitungkan kendaraan tidak bermotor dalam perhitungan kapasitas jalan
3. Derajat Kejemuhan ($D_J \leq 0,85$)
4. Tundaan (T) terkecil
5. Persyaratan teknis geometrik bundaran
6. Pertimbangan keselamatan lalu lintas, lingkungan, dan ekonomi

2.7.3 Penetapan Tipe Bundaran yang Baku

Beberapa tipe bundaran dalam gambar menunjukkan tipikal dan baku dari pertemuan dua segmen jalan, jalan utama, dan jalan minor. Tipikal bundaran, pemberian kode, serta ukuran bakunya dapat dilihat pada Tabel 2.9 dan



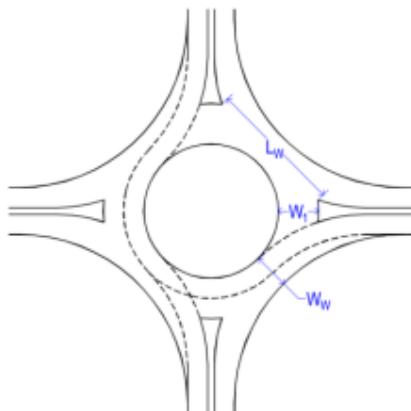
Gambar 2.24 (Direktorat Jenderal Bina Marga, 2023).

Contohnya kode R10-11 adalah kode untuk bundaran dengan radius bundaran 10 m (R10) dan dengan satu lajur pada pendekat minor dan satu lajur pada pendekat utama.

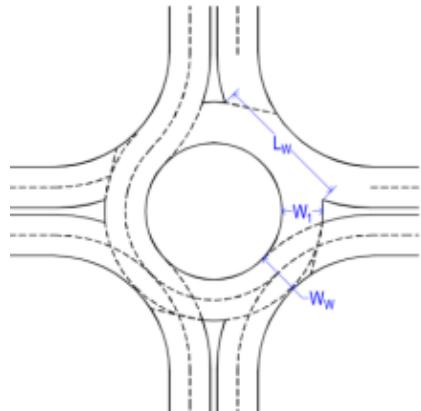
Tabel 2.9 Ukuran baku beberapa tipe bundaran

Tipe Bundaran	Jari-jari Bundaran (m)	Jumlah lajur masuk	Lebar lajur masuk W_l (m)	Panjang jalanan L_w (m)	Lebar jalinan W_w (m)
R10-11	10	1	3,5	23	7
R10-22	10	2	7,0	27	9
R14-11	14	2	7,0	31	9
R20-22	20	2	7,0	43	9

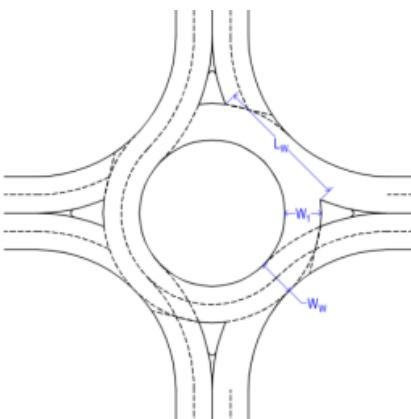
R10-11



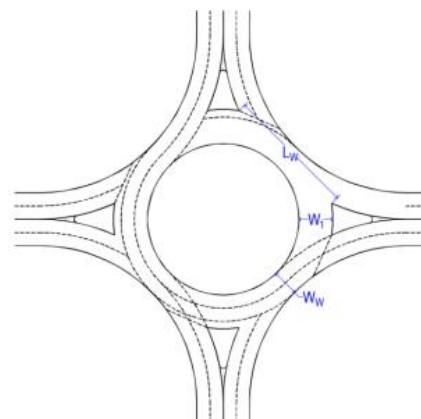
R10-22



R14-22



R20-22



Gambar 2.24 Tipikal bundaran yang baku

2.8 Data Masukan

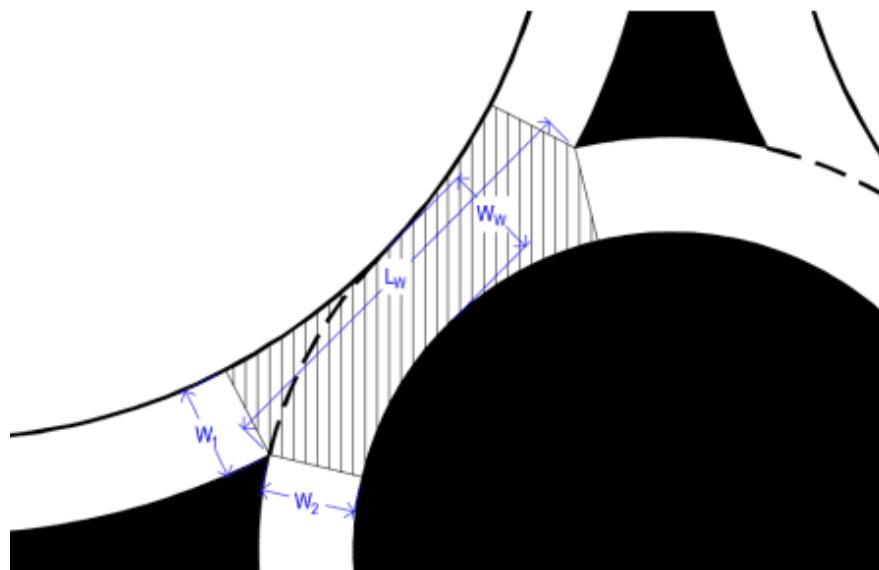
2.8.1 Kondisi Geometri Bundaran

Bagian jalinan majemuk (bundaran) memiliki beberapa parameter geometrik yang menjadi dasar perhitungan kapasitasnya, yaitu lebar pendekat yang akan masuk ke bagian jalinan bundaran (W_1 dan W_2), lebar masuk rata-rata pendekat untuk masing-masing bagian jalinan bundaran (W_E), lebar bagian jalinan (W_W), dan panjang jalinan (L_W) seperti yang terihat pada Gambar 2.25 (Direktorat Jenderal Bina Marga, 2023). Ada dua parameter geometrik yang menjadi acuan perhitungan kapasitas selanjutnya, yaitu:

- Rasio antara lebar masuk rata-rata dengan lebar jalinan: $\frac{W_E}{W_W}$
- Rasio antara lebar jalinan dengan panjang jalinan: $\frac{W_W}{L_W}$

Data geometri yang dibutuhkan untuk menganalisis bundaran sesuai ketentuan PJKI 2023 adalah sebagai berikut:

1. Gambar tampak atas bundaran yang meliputi nama kota, nama provinsi, nama jalan, dan panah petunjukan arah utara.
2. Memberikan ringkasan yang baik dari bagian jalinan dengan informasi tentang kereb, lebar pendekat, lebar jalinan, panjang jalinan, dan lebar bahu.



Gambar 2.25 Bagian Jalinan Majemuk (Bundaran)

Parameter geometrik bagian jalinan:

$$W_E = \frac{W_1 + W_2}{2} \quad (2.26)$$

Jika $W_1 > W_w$, maka $W_1 = W_w$; Jika $W_2 > W_w$, maka $W_2 = W_w$

2.8.2 Kondisi Lalu Lintas

Kondisi lalu lintas dapat ditentukan menurut Lalu Lintas Harian Rata-Rata Tahunan (LHRT) dengan faktor k yang sesuai untuk konversi dari LHRT menjadi arus per jam. Data arus lalu lintas rencana digunakan sebagai dasar untuk menetapkan lebar jalur lalu lintas atau jumlah lajur lalu lintas, berupa q_{JP} yang ditetapkan dari LHRT, menggunakan faktor K sebagaimana persamaan berikut.

$$q_{JP} = LHR \times K \quad (2.27)$$

Keterangan:

LHRT : volume lalu lintas rata-rata tahunan, dapat diperoleh dari perhitungan lalu lintas atau prediksi, dinyatakan dalam kend/hari

K : faktor jam perencanaan, ditetapkan dari kajian fluktuasi arus lalu lintas jaman selama satu tahun.

Data lalu lintas sering tidak ada atau kualitasnya kurang dapat dipertanggungjawabkan. Untuk mengatasi hal ini, tabel berikut memberikan nilai normal variabel-variabel tersebut untuk digunakan sebagai kontrol terhadap data atau sebagai nilai awal jika data belum tersedia. Nilai normal variabel umum lalu lintas, dapat dilihat pada Tabel 2.10 sampai dengan Tabel 2.12 (Direktorat Jenderal Bina Marga, 2023).

Tabel 2.10 Nilai normal faktor K

Lingkungan jalan	Nilai faktor K sesuai ukuran kota	
	>1 juta jiwa	≤1 juta jiwa
Jalan di wilayah komersial dan jalan arteri	0,07 - 0,08	0,08 – 0,10
Jalan di wilayah pemukiman	0,08 – 0,09	0,09 – 0,12

Tabel 2.11 Nilai normal komposisi lalu lintas

Ukuran kota (Juta jiwa)	Komposisi lalu lintas kendaraan bermotor, %			$R_{KTB} = \frac{q_{KTB}}{q_{KB}} (%)$
	MP	KS	SM	
>3,0	60,0	4,5	35,5	1,0
1,0 – 3,0	55,5	3,5	41,0	5,0
0,5 – 1,0	40,0	3,0	57,0	14,0
0,1 – 0,5	63,0	2,5	34,5	5,0
<0,1	63,0	2,5	34,5	5,0

Tabel 2.12 Nilai normal variabel lalu lintas umum

Faktor	Nilai normal
Rasio jalinan (P_W)	0,75

Rasio belok kiri (P_{BK_i})	0,15
Rasio belok kanan (P_{BK_a})	0,15
Faktor-smp (F_{SMP})	0,83

2.8.3 Kondisi Lingkungan

1. Ukuran Kota

Kelas ukuran kota ditentukan berdasarkan jumlah penduduk diseluruh daerah perkotaan dan dapat dilihat pada Tabel 2.13 (Direktorat Jenderal Bina Marga, 2023).

Tabel 2.13 Kelas Ukuran Kota

Ukuran Kota	Populasi penduduk (Juta Jiwa)	F_{UK}
Sangat kecil	< 0,1	0,82
Kecil	0,1 – 0,5	0,83
Sedang	0,5 – 1,0	0,94
Besar	1,0 – 3,0	1,00
Sangat besar	>3,0	1,05

2. Tipe Lingkungan Jalan

Data lingkungan perlu diperhitungkan dalam perhitungan faktor koreksi kapasitas bagian jalinan. Lingkungan jalan diklasifikasikan ke dalam kelas berdasarkan tata guna lahan dan aksesibilitas jalan tersebut dari aktivitas disekitarnya. Penentuannya dilakukan secara kualitatif dari pertimbangan teknik lalu lintas dengan menggunakan acuan pada Tabel 2.14 (Direktorat Jenderal Bina Marga, 2023).

Tabel 2.14 Tipe Lingkungan Jalan

Kelas tipe lingkungan jalan	Kondisi lingkungan jalan
Komersial	Guna lahan komersial (misalnya pertokoan, rumah makan, perkantoran) dengan jalan masuk langsung bagi pejalan kaki dan kendaraan
Pemukiman	Guna lahan tempat tinggal dengan jalan masuk langsung bagi pejalan kaki dan kendaraan
Akses Terbatas	Tanpa jalan masuk atau jalan masuk langsung terbatas (misalnya karena adanya penghalang fisik, jalan samping dan sebagainya)

3. Kelas Hambatan Samping

Pengaruh aktivitas samping jalan di daerah simpang pada arus berangkat lalu lintas, misalnya pejalan kaki berjalan atau menyeberangi jalur, angkutan kota dan bis berhenti untuk menaikkan dan menurunkan penumpang, kendaraan masuk dan keluar halaman dan tempat parkir di luar jalur dijadikan dasar penentuan tinggi rendahnya hambatan samping secara kualitatif. Faktor koreksi tipe lingkungan jalan, hambatan samping, dan rasio kendaraan tidak bermotor ditentukan dengan menggunakan Tabel 2.15 (Direktorat Jenderal Bina Marga, 2023).

Tabel 2.15 Kelas Hambatan Samping

Kelas Hambatan Samping	Kriteria
Tinggi	Arus berangkat pada tempat masuk dan keluar bagian jalinan terganggu dan berkurang akibat aktivitas samping jalan di sepanjang pendekat. Contoh adanya aktivitas naik/turun penumpang atau ngetem angkutan umum, pejalan kaki dan/atau pedagang kaki lima di sepanjang atau melintas pendekat, kendaraan keluar/masuk samping pendekat

Kelas Hambatan Samping	Kriteria
Sedang	Arus berangkat pada tempat masuk dan keluar bagian jalinan sedikit terganggu dan sedikit berkurang akibat aktivitas samping jalan di sepanjang pendekat
Rendah	Arus berangkat pada tempat masuk dan keluar bagian jalinan tidak terganggu dan tidak berkurang oleh hambatan samping

2.9 Kapasitas Bagian Jalinan

Kapasitas bagian bundaran dihitung dari arus masuk atau arus keluar maksimum pada kondisi lalu lintas dan lokasi yang ditentukan sebelumnya, yang dicapai pada saat bagian jalinan pertama mencapai kapasitasnya. Kapasitas lalu lintas adalah sebuah fungsi dari kapasitas kendaraan, kecepatan, dan jumlah kendaraan yang dapat berada pada jalan raya pada suatu waktu.

Tujuan utama dari analisis kapasitas suatu jalan adalah untuk memperkirakan jumlah lalu lintas maksimum yang mampu dilayani oleh ruas jalan tersebut. Hal ini seperti yang telah diketahui bahwa suatu jalan terbatas daya tampungnya. Apabila suatu arus lalu lintas yang dioperasikan mendekati atau menyamai kapasitas yang ada, maka hal ini akan menimbulkan rasa sangat tidak nyaman bagi para pengguna jalan. Analisis kapasitas sendiri merupakan suatu rangkaian prosedur yang dipakai untuk memperkirakan kemampuan daya tampung suatu ruas jalan terhadap arus lalu lintas dalam suatu batasan kondisi operasional tertentu. Analisis ini dapat diterapkan pada fasilitas jalan yang sudah ada untuk tujuan pengembangan.

2.9.1 Kapasitas Dasar (C_0)

Kapasitas dasar merupakan kapasitas ruas atau persimpangan dalam kondisi cuaca dan geometri ideal dalam satuan SMP/jam. Menurut PKJI 2023 kapasitas dasar dapat dihitung menggunakan persamaan berikut.

$$C_0 = 135 \times W_W^{1,3} \times \left(1 + \frac{W_E}{W_W}\right)^{1,5} \times \left(1 - \frac{P_W}{3}\right)^{0,5} \times \left(1 + \frac{W_W}{L_W}\right)^{-1,8} \quad (2.28)$$

Keterangan:

W_E = Lebar masuk rata-rata (meter)

W_W = Lebar jalinan (meter)

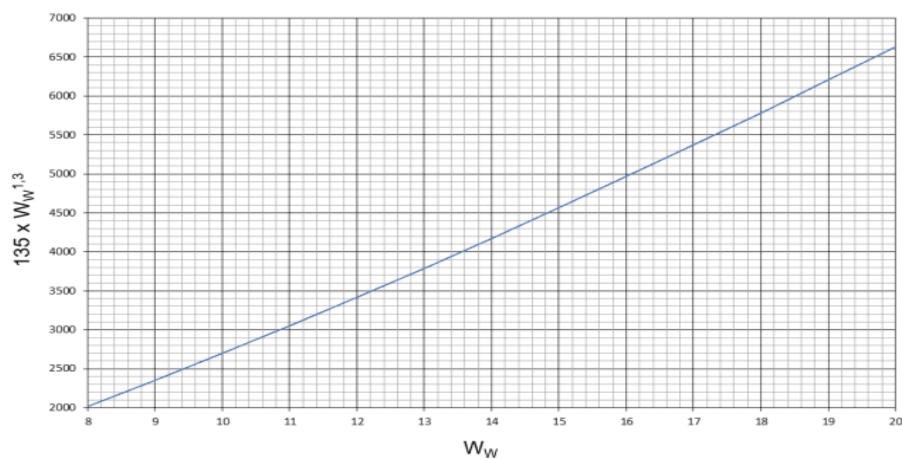
L_W = Panjang jalinan

$\frac{W_W}{L_W}$ = Rasio lebar jalinan terhadap panjang jalinan

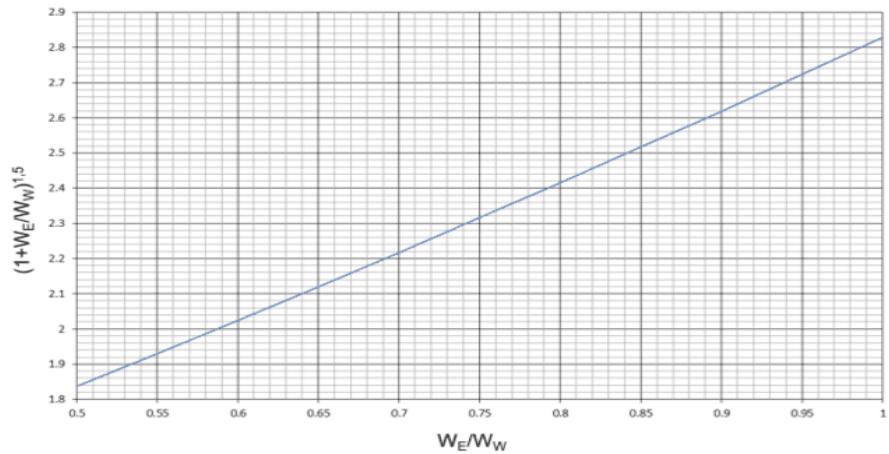
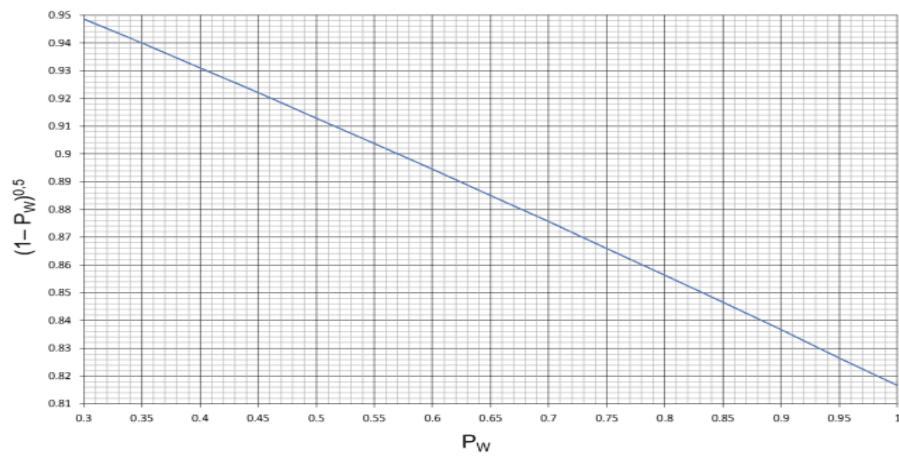
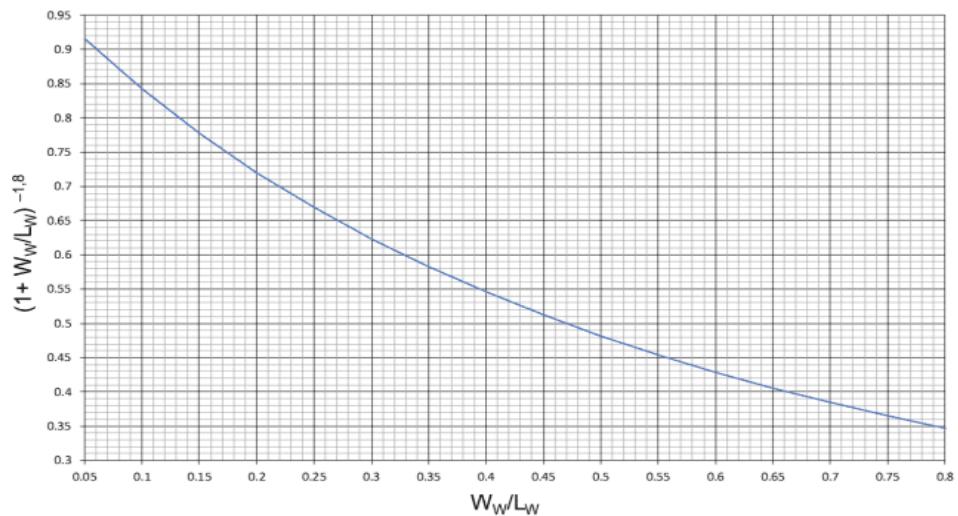
P_W = Rasio menjalin

Untuk menghitung faktor-faktor dalam persamaan kapasitas dasar bagian jalinan tersebut, telah dipersiapkan beberapa kurva empirik dapat dilihat pada Gambar 2.26 sampai dengan Gambar 2.29 (Direktorat Jenderal Bina Marga, 2023). Variabel masukan kapasitas dasar yaitu:

- lebar jalinan (W_W)= $135 \times W_W^{1,3}$ dihitung menggunakan kurva pada Gambar 2.26.
- rasio lebar masuk rata-rata/lebar jalinan ($\frac{W_E}{W_W}$)= $\left(1 + \frac{W_E}{W_W}\right)^{1,5}$ dihitung menggunakan kurva pada Gambar 2.27.
- rasio menjalin (P_W)= $\left(1 - \frac{P_W}{3}\right)^{0,5}$ dihitung menggunakan kurva pada Gambar 2.28.
- rasio lebar terhadap panjang jalinan ($\frac{W_W}{L_W}$)= $\left(1 + \frac{W_W}{L_W}\right)^{-1,8}$ dihitung menggunakan kurva pada Gambar 2.29.



Gambar 2.26 Penentuan Faktor W_W

Gambar 2.27 Penentuan Faktor W_E/W_W Gambar 2.28 Penentuan Faktor P_W Gambar 2.29 Penentuan Faktor W_W/L_W

2.9.1.1 Faktor Koreksi Ukuran Kota (F_{UK})

Faktor koreksi ukuran kota ditentukan berdasarkan jumlah penduduk kota (juta jiwa), penentuan faktor koreksi ukuran kota dapat dilihat pada Tabel 2.16 (Direktorat Jenderal Bina Marga, 2023).

Tabel 2.16 Faktor koreksi ukuran kota

Ukuran Kota	Penduduk (Juta)	Faktor koreksi ukuran kota (F_{UK})
Sangat kecil	<0,1	0,82
Kecil	0,1 – 0,5	0,88
Sedang	0,5 – 1,0	0,94
Besar	1,0 – 3,0	1,00
Sangat besar	>3,0	1,05

2.9.1.2 Faktor Koreksi Tipe Lingkungan Jalan, Hambatan Samping, dan Kendaraaan Tidak Bermotor (F_{RSU})

Faktor penyesuaian tipe lingkungan jalan, hambatan samping, dan kendaraan tidak bermotor (F_{RSU}) ditentukan dengan menggunakan Tabel 2.17 (Direktorat Jenderal Bina Marga, 2023).

Tabel 2.17 Faktor penyesuaian tipe lingkungan jalan, hambatan samping, dan kendaraan tidak bermotor (F_{RSU})

Kelas tipe lingkungan jalan	Kelas hambatan samping	Rasio kendaraan tidak bermotor (R_{KTB})					
		0,00	0,05	0,10	0,15	0,20	≥ 0,25
komersial	tinggi	0,93	0,88	0,84	0,79	0,74	0,70
	Sedang	0,94	0,89	0,85	0,81	0,75	0,70
	rendah	0,95	0,90	0,86	0,82	0,76	0,71
pemukiman	Tinggi	0,96	0,91	0,86	0,82	0,77	0,72
	Sedang	0,97	0,92	0,87	0,82	0,77	0,73
	Rendah	0,98	0,93	0,88	0,83	0,78	0,74

Kelas tipe lingkungan jalan	Kelas hambatan samping	Rasio kendaraan tidak bermotor (R _{KTB})					
		0,00	0,05	0,10	0,15	0,20	≥ 0,25
Akses terbatas	Tinggi/sedang/rendah	1,00	0,95	0,90	0,85	0,80	0,75

2.9.2 Kapasitas (C)

Kapasitas bagian jalinan (C) dihitung untuk total arus yang masuk ke seluruh lengan Bagian Jalinan dan didefinisikan sebagai perkalian antara kapasitas dasar (C_0) dengan faktor-faktor koreksi yang memperhitungkan perbedaan kondisi lingkungan (kondisi lapangan) terhadap kondisi idealnya. Menurut PKJI 2023 kapasitas bagian jalinan masing-masing dihitung menggunakan persamaan berikut.

$$C = C_0 \times F_U \times F_{RSU} \quad (2.29)$$

Keterangan:

C_0 = Kapasitas dasar jalinan (SMP/jam)

F_U = Faktor koreksi ukuran kota

F_{RSU} = Faktor koreksi tipe lingkungan jalan, hambatan samping, dan rasio kendaraan tidak bermotor

2.10 Kinerja Bundaran

Untuk analisa perencanaan dan operasional bundaran yang sudah ada, tujuan analisa biasanya untuk membuat perbaikan kecil pada geometri simpang agar dapat mempertahankan perilaku lalu lintas yang diinginkan, sepanjang rute atau jaringan jalan. Perilaku lalu lintas berupa derajat kejenuhan $D_J > 0,85$ selama jam puncak disarankan untuk dihindari. Antrian pada daerah keluaran bundaran yang menutup daerah sirkulasi arus juga penting untuk dihindari.

2.10.1 Derajat Kejenuhan Bagian Jalinan

Derajat kejenuhan (D_J) merupakan rasio antara arus lalu lintas terhadap kapasitas. Bundaran didefinisikan memiliki derajat kejenuhan tertinggi. Menurut PKJI 2023 D_J bagian jalinan dihitung menggunakan persamaan sebagai berikut.

$$D_J = \frac{q}{C} \quad (2.30)$$

Keterangan:

D_J = Derajat kejenuhan

q = Arus lalu lintas total (SMP/jam)

C = Kapasitas simpang (SMP/jam)

2.10.2 Tundaan Pada Bundaran

2.10.2.1 Tundaan Lalu Lintas Bagian Jalinan Bundaran

Menurut PKJI 2023 tundaan lalu lintas pada bagian jalinan merupakan tundaan rata-rata lalu lintas per kendaraan yang masuk ke bagian jalinan yang dihitung menggunakan rumus empiris sebagai fungsi dari D_J pada persamaan dibawah ini:

$$\text{Untuk } D_J \leq 0,60 : T_R = 2 + 2,68982 \times D_J - (1 - D_J) \times 2 \quad (2.31)$$

$$\text{Untuk } D_J > 0,60 : T_R = \frac{1}{(0,59186 - 0,52525 \times D_J)} - (1 - D_J) \times 2 \quad (2.32)$$

2.10.2.2 Tundaan Lalu Lintas Bundaran

Menurut PKJI 2023 tundaan lalu lintas bundaran adalah tundaan rata-rata per kendaraan yang masuk ke dalam bundaran. Tundaan lalu lintas bundaran dapat dihitung menggunakan persamaan rumus sebagai berikut.

$$T_{LL} = \sum_{i=1}^n \frac{q_i \times T_{Ri}}{q_{masuk}} \quad (2.33)$$

Keterangan:

q_i = Arus tota yang memasuki bagian jalinan ke i (SMP/jam)

T_{Ri} = Tundaan lalu lintas rata-rata pada bagian jalinan ke i (detik/SMP)

q_{masuk} = Jumlah arus lalu lintas total yang masuk bundaran (SMP/jam)

i = Bagian jalinan ke i dalam bundaran

n = Jumlah bagian jalinan dalam bundaran

2.10.2.3 Tundaan Bundaran

Menurut PKJI 2023 tundaan bundaran adalah tundaan lalu lintas rata-rata per kendaraan masuk bundaran. Tundaan bundaran dihitung menggunakan persamaan sebagai berikut.

$$T = T_{LL} + T_G \quad (2.34)$$

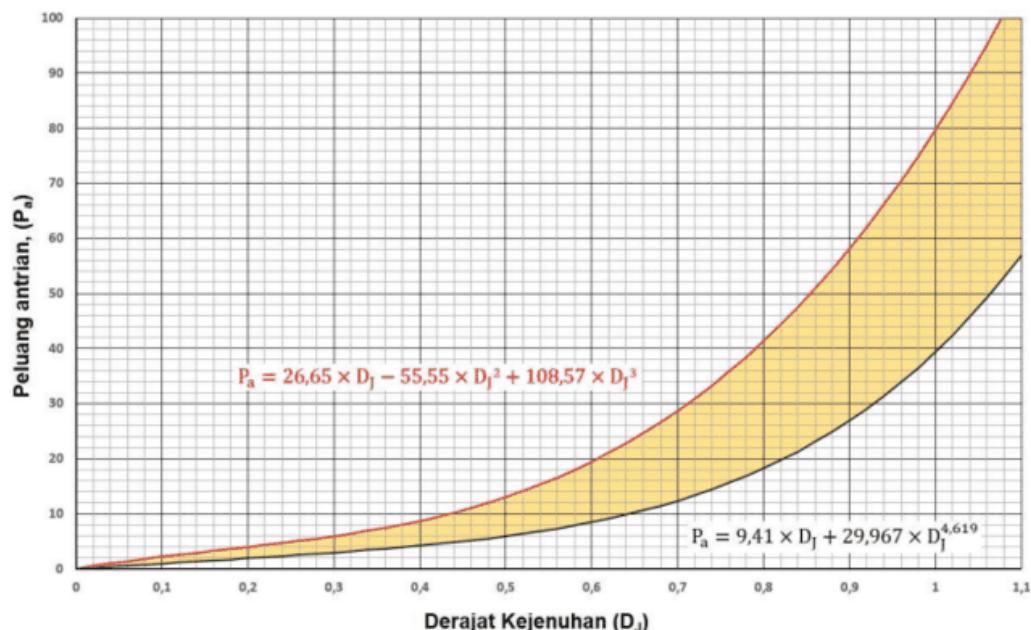
Keterangan:

T_{LL} = Tundaan lalu lintas rata-rata pada bundaran (detik/SMP)

T_G = Tundaan geometrik (detik/SMP) ; gunakan tundaan geometrik rata-rata 4 detik/SMP

2.10.3 Peluang Antrian

Menurut PKJI 2023 P_a dinyatakan dalam rentang kemungkinan (%) dan dapat ditentukan menggunakan kurva antrian empiris pada Gambar 2.30 dengan D_J sebagai variabel masukannya (Direktorat Jenderal Bina Marga, 2023). Nilai P_a bundaran diambil dari P_a tertinggi di antara bagian jalinan dalam bundaran tersebut.



Gambar 2.30 Grafik Peluang Antrian

Batas bawah;

$$P_a = 9,41 \times D_J + 29,967 \times D_J^{4,619} \quad (2.35)$$

Batas atas;

$$P_a = 26,65 \times D_J - 55,55 \times D_J^2 + 108,57 \times D_J^3 \quad (2.36)$$

2.11 Tingkat Pelayanan

Tingkat pelayanan (*Level of Service*) adalah indikator yang dapat mencerminkan tingkat kenyamanan ruas jalan, yaitu perbandingan antara volume lalu lintas yang ada terhadap kapasitas jalan tersebut. Apabila volume lalu lintas meningkat, maka tingkat pelayanan jalan menurun karena kondisi lalu lintas yang memburuk akibat interaksi faktor-faktor yang berpengaruh terhadap tingkat pelayanan. Hubungan antara tingkat pelayanan jalan, karakteristik arus lalu lintas dan rasio volume terhadap kapasitas (rasio $D_J=q/c$) yaitu seperti pada Tabel 2.18 (Syafa'at Ekiciputra et al., 2022).

Tabel 2.18 Tingkat pelayanan jalan tergantung Derajat Kejemuhan

Tingkat Pelayanan	Derajat Kejemuhan (D_J)	Keterangan
A	0,00 – 0,20	Kondisi arus bebas dengan kecepatan tinggi, pengemudi memilih kecepatan yang diinginkan tanpa hambatan
B	0,21 – 0,44	Arus stabil, tetapi kecepatan operasi mulai dibatasi oleh kondisi lalu lintas. Pengemudi memiliki kebebasan yang cukup untuk memilih kecepatan
C	0,45 – 0,74	Arus stabil, tetapi kecepatan dan gerak kendaraan dikendalikan, pengemudi dibatasi dalam memilih kecepatan
D	0,75 – 0,84	Arus mendekati tidak stabil, kecepatan masih dikendalikan, Q/C masih dapat ditolerir
E	0,85 – 1,00	Volume lalu lintas mendekati/berada pada kapasitas arus tidak stabil, terkadang berhenti

Tingkat Pelayanan	Derajat Kejemuhan (D _J)	Keterangan
F	>1,00	Arus yang dipaksakan/macet, kecepatan rendah, V diatas kapasitas, antrian panjang dan terjadi hambatan hambatan yang besar

Berdasarkan Peraturan Menteri Perhubungan Republik Indonesia penentuan tingkat pelayanan tergantung tundaan yang terjadi pada ruas jalan, tingkat pelayanan dapat dilihat pada Tabel 2.19 (Peraturan Menteri Perhubungan Republik Indonesia, 2015).

Tabel 2.19 Tingkat Pelayanan Tergantung Tundaan

Tundaan (det/smp)	Tingkat Pelayanan	Keterangan
< 5	A	Baik Sekali
5,1 – 15	B	Baik
15,1 – 25	C	Sedang
25,1 – 40	D	Kurang
40,1 – 60	E	Buruk
>60	F	Buruk Sekali

2.12 Perhitungan Proyeksi Jumlah Penduduk

Proyeksi penduduk merupakan perkiraan jumlah penduduk pada masa yang akan datang, laju pertumbuhan menunjukkan rata-rata tingkat pertambahan penduduk per tahun sangat signifikan dalam jangka waktu tertentu. Metode yang digunakan untuk perhitungan ini menggunakan metode geometrik (Nisa, 2024).

Proyeksi pertumbuhan penduduk dalam metode geometrik menggunakan asumsi bahwasanya jumlah penduduk akan bertambah secara geometrik menggunakan dasar perhitungan bunga majemuk, dimana laju pertumbuhan penduduk atau rate of growth dianggap samauntuk setiap tahun (Nisa, 2024).

Dalam memperoleh angka pertumbuhan penduduk dengan metode geometrik dapat digunakan persamaan sebagai berikut (Kartika et al., 2015).

$$P_n = P_0(1+r)^n \quad (2.37)$$

Keterangan:

P_n = Jumlah penduduk pada tahun yang ditinjau

P_0 = Jumlah penduduk pada tahun sekarang

r = Angka pertumbuhan penduduk (%)

n = Jangka waktu tinjauan (dalam tahun)

2.13 Perhitungan Peramalan Proyeksi Lalu Lintas Harian Rata-rata

Peramalan (*forecasting*) merupakan suatu bentuk kegiatan yang dilakukan untuk memperkirakan kejadian yang akan terjadi di masa mendatang. Salah satu metode yang dapat digunakan untuk peramalan yaitu menggunakan analisis regresi linier yang termasuk dalam metode time series. Metode ini merupakan metode yang tepat untuk digunakan dalam peramalan jangka pendek maupun jangka panjang (Iswahyudi, 2016).

Analisa regresi digunakan untuk memprediksi jumlah kendaraan di tahun-tahun yang akan datang karena setiap tahunnya jumlah kendaraan akan terus bertambah. Dalam menentukan analisa regresi maka data harus didapatkan data minimal satu tahun terakhir. Rumus umum dari persamaan regresi linier dapat dituliskan sebagai berikut.

$$y' = a + bx \quad (2.38)$$

$$\text{Dimana, } b = \frac{n \times \sum xy - (\sum x)(\sum y)}{n \times \sum x^2 - (\sum x)^2}; \quad a = \frac{\sum y - b \times \sum x}{n} \quad (2.39)$$

y_i : variabel terikat berupa LHR

x : variabel bebas berupa waktu

a : koefisien intersep/konstanta

b : koefisien regresi/slop

Untuk memproyeksikan lalu lintas harian rata-rata pada tahun yang ditinjau digunakan sebagai berikut (Kartika et al., 2015).

$$LHR_n = LHR_0(1 + i)^n \quad (2.40)$$

Keterangan:

LHR_n = Lalu lintas harian rata-rata tahun yang ditinjau

LHR_0 = Lalu lintas harian rata-rata pada saat sekarang

i = Angka pertumbuhan lalu lintas (%)

n = Jangka waktu tinjauan (tahun)

2.14 Penanganan Kinerja Bagian Jalanan

Dalam Pedoman Kapasitas Jalan Indonesia 2023 disebutkan jika kriteria desain belum dipenuhi, yang umumnya diindikasikan oleh nilai D_J yang lebih tinggi dari 0,85, berarti arus lalu lintas pada bagian jalinan tersebut mendekati arus jenuhnya dan akan menyebabkan antrian panjang pada kondisi lalu lintas puncak, maka perlu dipertimbangkan untuk meningkatkan kapasitas melalui salah satu perubahan, yaitu dengan melakukan penambahan lebar pendekat, pengaruh terbaik dari tindakan ini akan diperoleh jika pelebaran dilakukan pada pendekat-pendekat dengan nilai D_J yang kritis.

2.15 Perangkat Lunak *PTV Vissim*

1. Pengertian *Vissim*

VISSIM merupakan singkatan dari “*Verkehr Stadten - SIMulationsmodell*” yang artinya “Lalu Lintas di Kota – Model Simulasi”. Program ini menyediakan kemampuan animasi dengan perangkat tambahan dalam tiga dimensi. *VISSIM* dikembangkan oleh PTV (*Planung Transport Verkehr AG*) di Karlsruhe, Jerman (Yudhajakti, 2025).

Menurut Ramadhona dkk (2019) *VISSIM* merupakan perangkat lunak simulasi lalu lintas secara mikroskopis, meliputi transportasi publik dan pejalan kaki. *Software* ini merupakan instrumen mutakhir yang dapat mensimulasikan berbagai multi moda transportasi, mulai dari kendaraan pribadi, angkutan umum, bus, kereta api, tram, LRT, kendaraan roda dua, sepeda, sampai dengan pergerakan pejalan kaki. Para penggunanya dapat membuat model dari berbagai konfigurasi

geometris jalan serta perilaku pengguna jalan dalam sistem transportasi dengan mempertimbangkan faktor-faktor seperti konfigurasi jalur, tipe kendaraan, sinyal lalu lintas, dan lainnya (Setiawan, 2020).

Perangkat lunak simulasi lalu lintas mikroskopis *VISSIM* digunakan untuk merancang, menganalisis, dan mengoptimalkan jaringan jalan, simpang, dan sistem kontrol lalu lintas. Dengan *VISSIM*, kita dapat membangun model jaringan jalan 3D yang realistik, mensimulasikan pergerakan berbagai jenis kendaraan, dan mengukur berbagai kinerja jaringan jalan.

Model *mirosimulation* juga memiliki kemampuan untuk mensimulasikan kondisi antrian serta memberikan hasil terhadap tingkat kepadatan dan pelayanan ruas jalan. Oleh karena itu, *VISSIM* menjadi alat yang efektif untuk menganalisa operasi lalu lintas di daerah perkotaan dan pusat kota serta menilai berbagai alternatif dalam perencanaan dan rekayasa transportasi termasuk meningkatkan efisiensi jaringan jalan dan meningkatkan jumlah kendaraan yang melintasi jalan.

Dalam memaksimalkan hasil dari *Vissim* tersebut, perlu dilakukan analisa pada kondisi eksisting untuk mengetahui nilai dari kinerja suatu lalu lintas. Berdasarkan pada nilai tersebut maka bisa dilakukan beberapa rekayasa dan manajemen di lokasi tersebut agar nilai lalu lintas memenuhi standar kriteria. Data tersebut penting karena untuk melihat perilaku lalu lintas yang terdapat di lokasi tersebut. Pada kondisi eksisting dilihat dan ditinjau untuk mengetahui nilai derajat kejemuhan yang umumnya sering dilihat. Jika nilai derajat kejemuhan $> 0,75$ maka diperlukan rekayasa dan/atau manajemen lalu lintas.

Parameter yang digunakan untuk membangun pemodelan *Vissim* diantaranya adalah:

- a. *Input background*
- b. *Link*
- c. *Vehicle input*
- d. *Vehicle type*
- e. *Vehicle classes*
- f. *Vehicle route*

- g. *Vehicle composition*
- h. *Desired speed distribution*
- i. *Signal controller*
- j. *Driving behavior*
- k. *Configuration evaluation*
- l. *Node result*
- m. *Data collection point*

2. Kalibrasi Pemodelan

Kalibrasi digunakan untuk menyesuaikan parameter pada pemodelan agar hasil simulasi dapat mencerminkan kondisi lalu lintas di lapangan. Proses kalibrasi dilakukan dengan menyesuaikan *driving behavior* atau perilaku pengemudi agar sesuai dengan kondisi nyata di lapangan.

Berdasarkan buku yang berjudul Aplikasi Permodelan Lalu Lintas *PTV VISSIM* 9.0 yang disusun oleh Primadona dkk. (2019), berikut parameter *driving behavior* yang dapat diubah pada proses kalibrasi agar mendapatkan hasil yang valid.

- a. *Average standstill distance* merupakan jarak antara kendaraan secara berurutan saat berhenti atau saat menunggu di belakang kendaraan lain, seperti pada persimpangan.
- b. *Additive part of safety distance* merupakan koefisien penambah jarak aman.
- c. *Multiplic part of safety distance* merupakan koefisien pengali jarak aman saat kendaraan bergerombol.
- d. *Desired position at free flow* merupakan jalur kanan kendaraan pada kondisi arus bebas.
- e. *Overtake on same lane* merupakan perilaku pengemudi yang ingin menyiap pada lajur kanan maupun kiri.
- f. *Distance standing* merupakan jarak antara satu kendaraan dengan kendaraan lain saat dalam kondisi berhenti.
- g. *Look ahead distance (maximum)* merupakan jarak pandang maksimal pengemudi ke arah depan sebelum menyalip.

- h. *Num interaction object* merupakan banyak kendaraan atau objek lain yang diperhitungkan oleh kendaraan untuk membuat keputusan seperti penggereman, menyalip, dan perubahan lajur.

Perubahan komponen pada *driving behavior* dapat dilihat pada Tabel 2.20 (Maulana, 2025).

Tabel 2.20 Perubahan Komponen *Driving Behavior*

Parameter yang diubah	Komponen yang diubah		Default	Kalibrasi
			Nilai	
<i>Car Following</i>	<i>Average standstill distance (m)</i>		2,00	0,60
	<i>Additive part of safety distance</i>		2,00	0,70
	<i>Multipliative. part of safety distance</i>		3,00	0,80
	<i>Look ahead distance (m)</i>	<i>Minimum</i>	0	0
		<i>Maximum</i>	250	100
		<i>Observed vehicles</i>	4	5
	<i>Look back distance (m)</i>	<i>Minimum</i>	0	0
		<i>Maximum</i>	150	100
<i>Lane Change</i>	<i>Waiting time before diffusion (s)</i>		60	40
	<i>Min. Headway (front/rear) (m)</i>		0,5	0,40
<i>Lateral</i>	<i>Desired position at free flow</i>		<i>Middle of lane</i>	<i>Any</i>
	<i>Minimum distance standing (m)</i>		0,20	0,40
	<i>Minimum distance driving (m)</i>		1,00	0,50
	<i>Overtake on same lane</i>		<i>None</i>	<i>Left</i> <i>Right</i>
<i>Signal Controller</i>	<i>Behavior at red/amber signal</i>		<i>Stop (same as-red)</i>	<i>Go (same as green)</i>

2.16 Studi Terdahulu

Penelitian mengenai kinerja bundaran sudah banyak dilakukan oleh peneliti terdahulu. Dari penelitian yang pernah dilakukan, maka diambil beberapa penelitian yang akan digunakan sebagai referensi pada penelitian yang dilakukan. Penelitian terdahulu tentang simpang bundaran antara lain sebagai berikut.

Tabel 2.21 Studi Terdahulu

No	Judul	Penulis	Tujuan Penelitian	Lokasi Penelitian	Metode Penelitian	Hasil Penelitian
1	Analisis dan Evaluasi Kinerja Ruas Jalan Nasional Pada Bundaran	Rizal Saupi (2024)	Mengetahui kinerja bundaran kondisi eksisting dan proyeksi 5 tahun mendatang, serta solusi untuk meningkatkan kinerja bundaran	Bundaran Panglima Sudirman Kota Malang	PKJI 2023	Hasil analisis kondisi eksisting, arus lalu lintas tertinggi terjadi pada hari Rabu pagi (06.30-07.30 WIB). D_J pada tiap ruas jalan adalah AB = 0,86, BC = 0,83, CD = 0,81, dan DA = 1,0. Tundaan bundaran rata-rata= 40,7 det/smp (tingkat pelayanan D) dengan P_a antara 56-106%. Setelah perbaikan geometrik bundaran, D_J menurun menjadi AB = 0,76, BC = 0,72, CD = 0,66, dan DA = 0,71. Tundaan bundaran rata-rata= 11,5 det/smp (tingkat pelayanan B) dengan P_a antara 15-35%. Untuk 5 tahun mendatang, D_J diprediksi meningkat kembali (AB = 0,96, BC = 0,91, CD = 0,83, DA = 0,90). Tundaan bundaran rata-rata diperkirakan 19 det/smp (tingkat pelayanan C) dengan P_a antara 33-69%.

No	Judul	Penulis	Tujuan Penelitian	Lokasi Penelitian	Metode Penelitian	Hasil Penelitian
2	Analisa Lalu Lintas Simpang Tak Bersinyal Terhadap Kinerja Ruas Jalan Pada Bundaran Binokasih Sumedang	Zulfa Saudah Darwin (2022)	Mengetahui kinerja bundaran kondisi eksisting dan kinerja bundaran proyeksi 5 tahun mendatang	Bundaran Binokasi Sumedang	MKJI 1997	Hasil analisis kinerja bundaran kondisi eksisting, arus terbesar terjadi pada hari Sabtu 18 Juni 2022 sore (16:00-17:00 WIB) dengan nilai kapasitas jalinan AB = 5455 smp/jam, BC = 4878 smp/jam, CD = 5398 smp/jam, DA = 5308 smp/jam. Nilai DJ jalinan AB = 0,396, BC = 0,289, CD = 0,253, DA = 0,317. Nilai tundaan bundaran rata-rata sebesar 6,71 det/smp (tingkat pelayanan B). Peluang antrian bundaran terjadi antara 4,1%-8,6%. Sedangkan untuk kinerja bundaran 5 tahun mendatang terjadi perubahan nilai pada tiap bagian jalinan dengan nilai derajat kejenuhan pada jalinan AB = 0,426, BC = 0,311, CD = 0,273, DA = 0,342. Nilai tundaan bundaran rata-rata sebesar 6,917 det/smp (tingkat pelayanan B). Peluang antrian bundaran terjadi antara 4,6%-9,6%.

No	Judul	Penulis	Tujuan Penelitian	Lokasi Penelitian	Metode Penelitian	Hasil Penelitian
3	Evaluasi Kinerja Bundaran Tugu Kartasura Menggunakan Studi Mikrosimulasi Lalu Lintas	Abimanyu Ditya Yudhajakti	Mengetahui kinerja bundaran, dan solusi dari perbaikan untuk meningkatkan kinerja bundaran	Bundaran Tugu Kartasura di Kabupaten Sukoharjo, Jawa Tengah	PKJI 2023	Hasil analisis eksisting didapatkan nilai D_J adalah $AB=0,95$, $BC= 0,72$, $CA= 0,84$, $T_{LL} = 11,072$ detik/SMP, nilai tundaan bundaran rata-rata= 15,072 detik/SMP, dan P_a tertinggi antara 32,90- 68,81%. Pemodelan software <i>PTV VISSIM</i> menghasilkan nilai P_a di Jl. Boyolali – Kartasura sebesar 119 m, pada ruas Jl. Jendral A. Yani sebesar 149 m, pada ruas Jl. Yogyakarta – Solo sebesar 43 m. dan nilai tundaan masing-masing bagian jalinan sebesar 26, 32, dan 10 detik/SMP. Alternatif 1 dipilih karena dapat mengurangi Panjang antrean pada ruas Jl. Raya Boyolali – Kartasura menjadi 12 m, dan waktu tundaan 10 detik/SMP. Pada ruas Jl. Jendral A. Yani menjadi 41 m, dan waktu tundaan menjadi 36 detik/SMP. Pada ruas Jl. Yogyakarta – Solo menjadi 13 m, dan waktu tundaan menjadi 6 detik/SMP.

No	Judul	Penulis	Tujuan Penelitian	Lokasi Penelitian	Metode Penelitian	Hasil Penelitian
4	Evaluasi Kinerja Bundaran HI dengan Menggunakan Program <i>PTV Vissim</i>	Andika Setiawan (2020)	Mengetahui kinerja lalu lintas di bundaran HI serta simulasi kondisi eksisting maupun kondisi alternatif untuk memperlancar arus lalu lintas di bundaran HI	Bundaran HI	<i>Software PTV VISSIM</i>	Hasil dari <i>VISSIM</i> terhadap kondisi lalu lintas eksisting didapat kecepatan rata-rata masuk bundaran HI ialah 16 km/jam dan Tundaan rata-rata ialah 102 det/kend. Tingkat pelayanan lalu lintas eksisting ialah tingkat pelayanan F. Solusi alternatif 1 berupa pelebaran jalan menghasilkan kecepatan rata-rata saat kendaraan masuk ke bundaran HI sebesar 18 km/jam dan rata-rata tundaan 137 det/kend. Tingkat pelayanan untuk kriteria tersebut tingkat pelayanan F. Solusi alternatif 2 berupa underpass menghasilkan kecepatan rata – rata sebesar 31 km/jam dan rata – rata tundaan 10 det/kend. Tingkat pelayanan yang sesuai ialah tingkat pelayanan B. Solusi alternatif 7 yang berupa underpass terhadap volume eksisting dengan pertumbuhan 1% pertahun selama 10 tahun mendatang merupakan solusi alternatif yang berbaik. Hal ini terlihat dari nilai tingkat pelayanan D.

No	Judul	Penulis	Tujuan Penelitian	Lokasi Penelitian	Metode Penelitian	Hasil Penelitian
5	Evaluasi Kinerja Bundaran Tugu Kartasura Menggunakan Studi Mikrosimulasi Lalu Lintas	Abimanyu Ditya Yudhajakti (2025)	mengidentifikasi kinerja dari Bundaran Tugu Kartasura, mengembangkan model mikrosimulasi lalu lintas serta memberikan alternatif yang tepat	Bundaran Tugu Kartasura	PKJI 2023 dan <i>Software PTV VISSIM</i>	Hasil analisis eksisting menggunakan perhitungan PKJI 2023 didapatkan nilai DJ pada bagian jalinan AB=0,95, BC=0,72, CA=0,84, TLL sebesar 11,07 det/SMP, nilai tundaan bundaran rata-rata sebesar 15,07 det/SMP, dan Pa tertinggi 32,90-68,81%. Hasil pemodelan software <i>PTV VISSIM</i> alternatif 1 yang akan digunakan dimana Pa pada ruas Jl. Raya Boyolali–Kartasura berkurang dari 119m menjadi 12m. Serta terjadi penurunan waktu tundaan dari 26 det/SMP menjadi 10 det/SMP. Pada ruas Jl. Jendral A. Yani juga terjadi penurunan pada Pa dari 149m menjadi 41m. Tetapi terjadi peningkatan waktu tundaan dari 32 det/SMP menjadi 36 det/SMP. Pada ruas Jl. Yogyakarta–Solo terjadi penurunan Pa dari 43m menjadi 13m. selain itu juga mengalami penurunan waktu tundaan dari 10 det/SMP menjadi 6 det/SMP.