

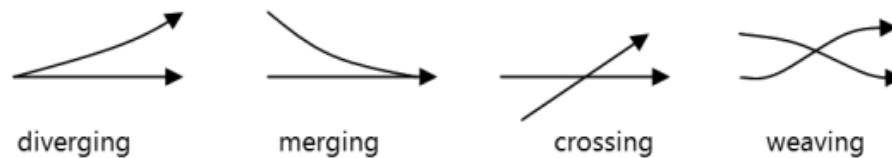
BAB 2

LANDASAN TEORI

2.1 Persimpangan

Persimpangan adalah pertemuan dua ruas atau lebih ruas jalan, dapat berupa simpang, atau simpang dengan APILL, atau bundaran atau simpang tak sebidang (Kementrian PU, 2014). Menurut Khristy dkk (2005), simpang adalah daerah dimana dua jalan atau lebih bergabung atau bersimpangan, termasuk jalan dan fasilitas tepi jalan untuk untuk pergerakan lalu lintas di dalamnya.

Risdiyanto (2014) menyebutkan bahwa pada persimpangan terdapat empat jenis dasar dari gerakan kendaraan, yaitu berpisah (*diverging*) atau berpisahnya arus lalu lintas dari beberapa ruas jalan, bergabung (*merging*) atau berkumpulnya arus lalu lintas dari beberapa ruas jalan, bersilangan (*crossing*) atau perpotongan arus kendaraan, dan menjalin (*weaving*) atau gerakan berpindah jalur.



Gambar 2. 1 Jenis Dasar dari Gerakan Kendaraan

Sumber: Rekayasa dan Manajemen Lalu Lintas (Risdiyanto, 2014)

Dijelaskan juga bahwa simpang dibedakan menjadi beberapa jenis, yaitu:

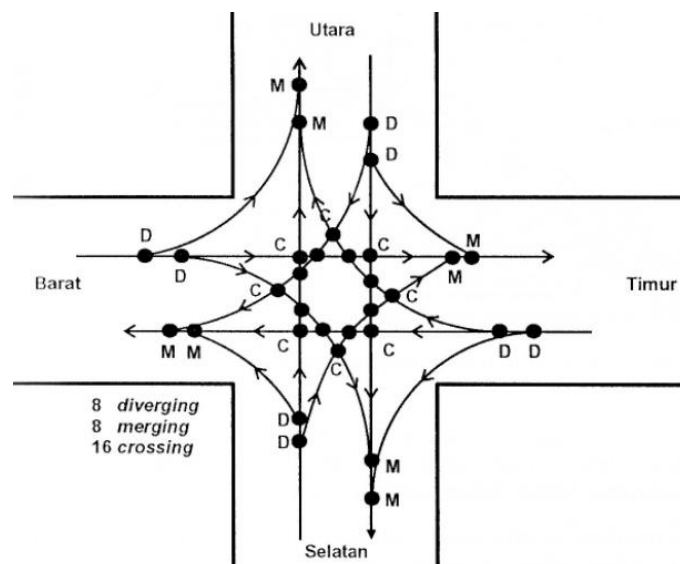
a. Simpang Tak Bersinyal (*Unsignalized Intersection*)

Simpang tak bersinyal adalah pertemuan dua atau lebih ruas jalan sebidang yang tidak diatur oleh Alat Pemberi Isyarat Lalu Lintas (APILL) (Departemen Pekerjaan Umum, 1997). Istilah simpang tak bersinyal pada MKJI 1997 dirubah menjadi istilah simpang menurut PKJI 2014 dan PKJI 2023 sebagai pembaharuan pedoman lalu lintas. Simpang jenis ini banyak terdapat di wilayah perkotaan, terutama pada jalan minor dan pergerakan membelok relatif kecil. Simpang tak bersinyal banyak dipakai pada volume lalu lintas yang rendah dengan pergerakan kendaraan pada simpang ini cukup rumit. Pada simpang jenis ini, hal utama pada simpang diperoleh berdasarkan aturan *General Priority Rule*, dimana kendaraan

yang lebih dahulu berada pada simpang mempunyai hak jalan lebih dahulu daripada kendaraan yang akan memasuki simpang tersebut.

Di Indonesia, simpang tak bersinyal dikendalikan oleh aturan dasar lalu lintas yaitu memberikan prioritas untuk kendaraan yang datang dari arah kiri. Namun pada kenyataannya, aturan ini tidak berjalan dengan baik karena budaya berlalu lintas masyarakat Indonesia yang masih kurang. Sementara pada kondisi pertemuan jalan mayor dan jalan minor, prioritas memberikan hak lebih kepada suatu jalan utama atau volume lalu lintas lebih banyak. Bentuk operasi ini dilakukan pada simpang yang mempunyai volume atau arus lalu lintas yang lebih rendah, yaitu pada pendekat dipasang tanda *stop* atau *yield*.

Munawar (2004) menyebutkan bahwa ada beberapa penanganan umum simpang tak bersinyal yang dapat dilakukan, seperti perbaikan geometrik ruas jalan yang bertujuan untuk mengurangi tundaan dan meningkatkan kapasitas jalan, pemberlakuan manajemen lalu lintas sebagai contoh memberikan rambu *stop* atau *yield*, pembuatan pulau lalu lintas serta median di jalan utama dengan lebar 3- 4 meter dengan tujuan meningkatkan kapasitas dan faktor keselamatan. Penanganan lainnya yaitu dengan pengaturan area pedagang kaki lima agar tidak menempati trotoar melalui larangan ataupun penataan secara khusus atau peningkatan fisik ruas jalan dengan kemungkinan perubahan tata guna lahan.



Gambar 2. 2 Pergerakan Kendaraan pada Simpang Tak Bersinyal

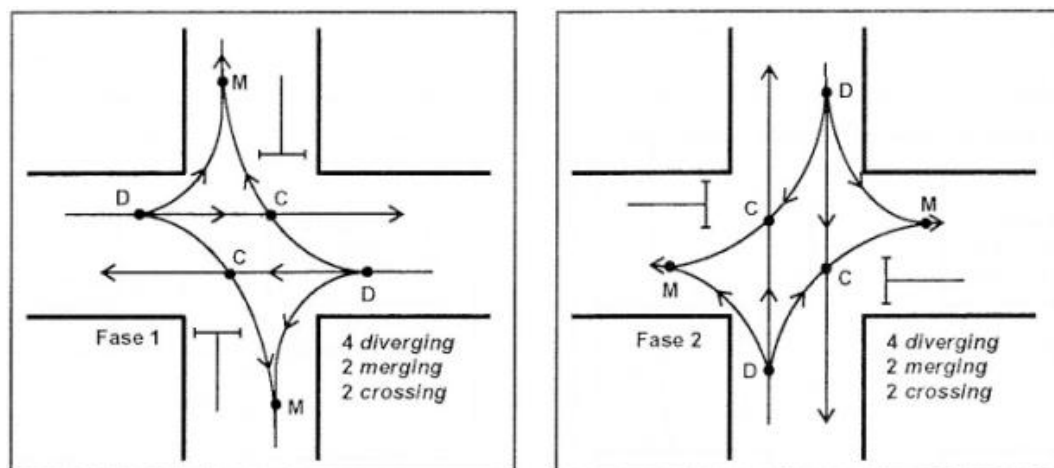
Sumber: Rekayasa dan Manajemen Lalu Lintas (Risdiyanto, 2014)

b. Simpang Bersinyal (*Signalized Intersection*)

Simpang bersinyal adalah simpang sebidang yang dilengkapi Alat Pemberi Isyarat Lalu Lintas (APILL) untuk pengaturan lalu lintasnya (Departemen Pekerjaan Umum, 1997). Pada PKJI 2014 dan PKJI 2023 penamaan simpang bersinyal berubah menjadi simpang APILL. Simpang dengan menggunakan sinyal, arus kendaraan memasuki simpang secara bergantian yang diatur dengan menggunakan lampu lalu lintas (Risdiyanto, 2014). Simpang bersinyal ini diberlakukan apabila arus lalu lintas yang melalui cukup tinggi dan penggunaan simpang tak bersinyal sudah tidak memadai lagi.

Lampu lalu lintas mempunyai fungsi utama sebagai pengatur hak jalan bagi pergerakan lalu lintas termasuk pejalan kaki. Pengaturan arus lalu lintas pada persimpangan menggunakan *traffic control signal* yang terdiri dari tiga warna, yaitu merah mengisyaratkan agar kendaraan berhenti, kuning mengisyaratkan agar pengemudi berhati-hati dan bersiap untuk berhenti, serta hijau mengisyaratkan kendaraan boleh berjalan selama waktu yang telah diatur.

Ukuran meningkatnya arus lalu lintas yaitu dari waktu tunggu rata-rata kendaraan pada saat melintasi simpang. Jika waktu tunggu rata-rata tanpa lalu lintas sudah lebih besar dari waktu tunggu rata-rata dengan lampu lalu lintas, maka perlu dipasang lampu lalu lintas (Munawar, 2004).

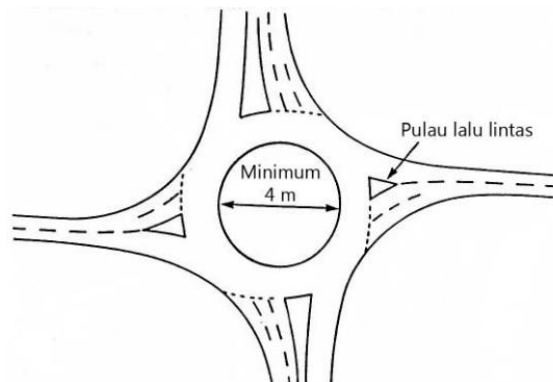


Gambar 2. 3 Pergerakan Kendaraan pada Simpang Bersinyal Dua Fase

Sumber: Rekayasa dan Manajemen Lalu Lintas (Risdiyanto, 2014)

c. Bundaran (*Roundabout*)

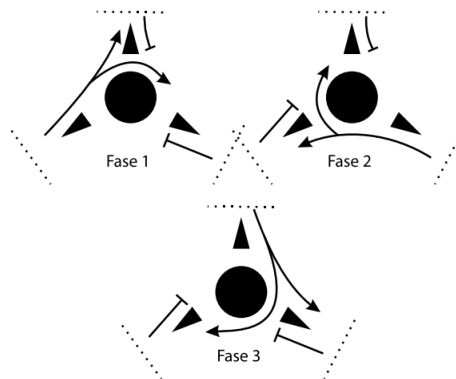
Risdiyanto (2014) menyebutkan bahwa bundaran adalah alternatif lain pengganti lampu lalu lintas. Bundaran lebih digunakan apabila arus pada tiap lengan relatif seimbang, terdapat volume yang tinggi untuk lalu lintas membelok ke kanan, dan jika persimpangan mempunyai lebih dari empat lengan. Bundaran dapat meningkatkan pemilihan kontrol dan menghasilkan antrian yang lebih kecil pada periode jam tidak sibuk dibandingkan dengan lampu lalu lintas.



Gambar 2. 4 Bundaran

Sumber: Rekayasa dan Manajemen Lalu Lintas (Risdiyanto, 2014)

Bundaran juga dapat dipadukan dengan sinyal yang disebut dengan bundaran bersinyal. Pada bundaran bersinyal, pengaturan sinyal berlawanan dengan arah jam.



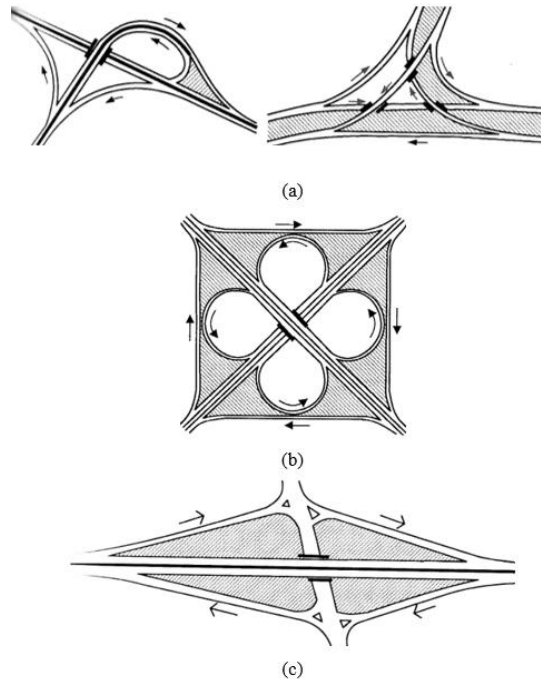
Gambar 2. 5 Pengaturan Fase pada Bundaran Bersinyal

Sumber: Manajemen Lalu Lintas Perkotaan (Munawar, 2004)

d. Simpang Susun (*Interchange*)

Risdiyanto (2014) menyebutkan bahwa persilangan seringkali merupakan *bottle neck* (bagian yang mempunyai kapasitas terkecil), sehingga kapasitas suatu jaringan jalan sering ditentukan oleh kapasitas persilangannya. Oleh karena itu,

pada arus lalu lintas yang sangat tinggi, persilangan dibuat tidak sebidang (simpang susun) guna meningkatkan kapasitasnya. Terdapat beberapa bentuk simpang susun, antara lain entuk T dan Y, bentuk semanggi, dan bentuk *diamond*. Bentuk yang sering dipakai yaitu bentuk semanggi.



Gambar 2. 6 Simpang Susun: (a) Bentuk T dan Y; (b) Bentuk Semanggi, serta (c) Bentuk *Diamond*

Sumber: Rekayasa dan Manajemen Lalu Lintas (Risdiyanto, 2014)

2.1.1 Titik Konflik Simpang

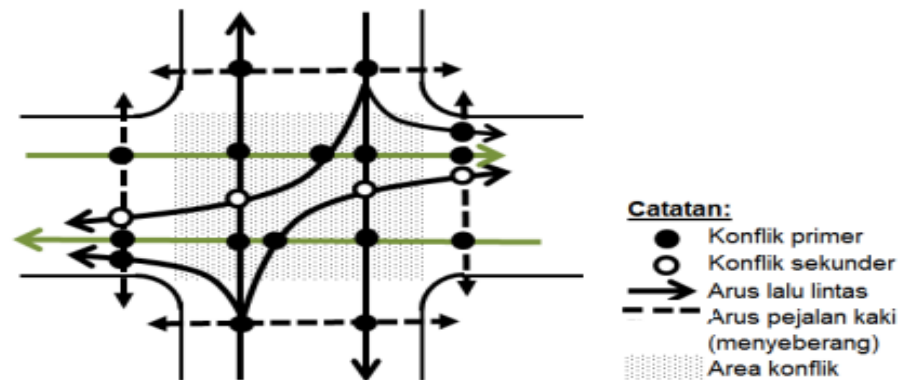
Permasalahan pada persimpangan disebabkan oleh pergerakan lalu lintas yang datang dari setiap lengan persimpangan (belok kiri, lurus, dan belok kanan) dan menggunakan ruang atau tempat yang sama dan pada waktu yang bersamaan, sehingga menimbulkan titik konflik pada ruang persimpangan tersebut. Semakin banyak titik konflik yang terjadi pada ruang persimpangan, maka semakin menghambat proses pergerakan arus lalu lintas. Hal tersebut akan menyebabkan semakin berkurangnya kapasitas persimpangan dan meningkatkan kemungkinan terjadinya kecelakaan (Tamin, 2008). Berdasarkan sifatnya, titik konflik pada simpang terbagi menjadi dua jenis yaitu:

- a. Konflik Utama (*Primary Conflict*)

Konflik utama adalah konflik antara jalan dengan gerakan lalu lintas yang berjalan lurus berpotongan, termasuk konflik dengan pejalan kaki.

b. Konflik Kedua (*Secondary Conflict*)

Konflik kedua adalah konflik antara gerakan lalu lintas yang berbelok dengan arus lalu lintas lurus melawan, ataupun gerakan lalu lintas membelok dari pejalan kaki yang menyebrang.



Gambar 2. 7 Konflik Utama dan Kedua pada Simpang Bersinyal Empat Lengan

Sumber: PKJI (Direktorat Jenderal Bina Marga, 2023)

Jumlah dan jenis titik konflik pada persimpangan sangat dipengaruhi oleh beberapa hal, yaitu:

1. Jumlah lengan persimpangan.
2. Jumlah lajur setiap lengan persimpangan.
3. Arah pergerakan lalu lintas dari setiap lengan persimpangan.
4. Pengaturan pergerakan arus lalu lintas (fase).

2.1.2 Tujuan Pengaturan Simpang

Pengaturan lalu lintas umumnya ditujukan untuk menjaga keselamatan arus lalu lintas dengan memberikan petunjuk-petunjuk yang jelas, terarah, dan tidak menimbulkan keraguan. Pengaturan lalu lintas pada persimpangan dapat dicapai dengan menggunakan lampu lalu lintas, marka dan rambu-rambu yang mengatur, mengarahkan, dan memperingati serta pulau-pulau lalu lintas (Ansyori, 2005). Pemilihan pengaturan simpang dapat ditentukan dengan tujuan sebagai berikut:

1. Mengurangi maupun menghindari kemungkinan terjadinya kecelakaan yang berasal dari berbagai kondisi titik konflik.
2. Menjaga kapasitas dari simpang agar dalam operasinya dapat dicapai pemanfaatan simpang yang sesuai dengan rencana.

3. Pengaturan simpang harus memberikan petunjuk yang jelas dan sederhana untuk mengarahkan arus lalu lintas pada tempat yang sesuai.

Pada pengaturan simpang perlu memperhatikan arus lalu lintas yang baik dari jalan minor dan jalan mayor. Data arus tersebut dapat ditentukan dari beberapa pengaturan simpang yang meliputi:

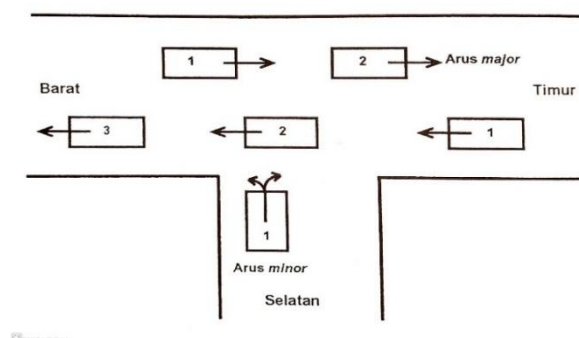
1. Pengaturan dengan Prioritas
 - a. Pengaturan simpang biasa.
 - b. Pengaturan simpang dengan bundaran.
2. Pengaturan dengan Lampu Lalu Lintas
 - a. Pengaturan simpang biasa.
 - b. Pengaturan simpang dengan bundaran.

2.1.3 Jenis-Jenis Pengendalian Simpang

Pengaturan pada simpang disusun berdasarkan kebutuhan arus dari tiap pendekatnya. Pertimbangan utama dalam menentukan jenis pengaturan simpang yaitu faktor besar kecilnya arus dan pertimbangan biaya yang tersedia. Pengaturan simpang yang tidak tepat akan menyebabkan jumlah tundaan meningkat, pemborosan fasilitas, dan meningkatnya kecenderungan pengemudi untuk melanggar. Tamin (2008) menyebutkan bahwa jika dilihat dari jenis persimpangan dan volume lalu lintas, terdapat beberapa cara pengendalian lalu lintas pada persimpangan yaitu:

- a. Pengaturan dengan Prioritas (*Priority Junction*)

Pengaturan ini berlaku apabila kendaraan yang berasal dari lengan persimpangan memberikan hak jalan kepada kendaraan yang ingin memasuki lengan persimpangan tersebut.



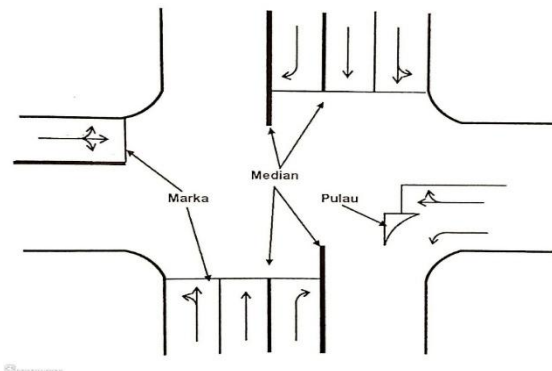
Gambar 2. 8 Persimpangan Lengan Tiga dengan Pengaturan Prioritas

Sumber: Perencanaan, Pemodelan, dan Rekayasa Transportasi (Tamin, 2008)

Dapat dilihat Gambar 2.8 bahwa sebuah persimpangan lengan tiga, dimana lengan persimpangan B-T merupakan lengan persimpangan utama (*major*) dan lengan persimpangan S merupakan lengan persimpangan tidak utama (*minor*). Pada kondisi ini, kendaraan yang berasal dari lengan persimpangan S akan selalu memberikan prioritas pada kendaraan yang bergerak dari lengan persimpangan B dan T. Kendaraan dari lengan persimpangan S baru akan dapat memotong arus kendaraan pada ruas jalan B-T jika terdapat *headway* (h) atau *spacing* (S_p) yang memungkinkan kendaraan dari lengan persimpangan S meotong arus tanpa terjadinya kecelakaan (*minimum acceptable headway/spacing*).

b. Pengaturan dengan Kanalisasi

Pengaturan dengan kanalisasi pada simpang bertujuan untuk memisahkan lajur lalu lintas yang bergerak lurus dengan lajur lalu lintas membelok (kiri dan kanan), sehingga pergerakan lalu lintas dapat lebih mudah dan aman bergerak di ruang persimpangan. Bentuk pemisah tersebut dapat berupa marka jalan atau pulau lalu lintas.

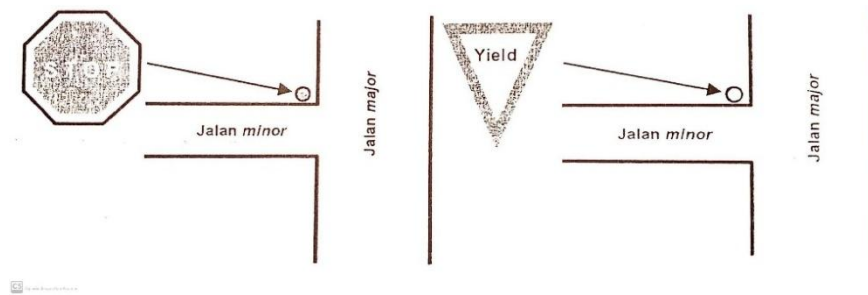


Gambar 2. 9 Persimpangan Lengan Empat dengan Pengaturan Kanalisasi

Sumber: Perencanaan, Pemodelan, dan Rekayasa Transportasi (Tamin, 2008)

c. Pengaturan dengan Rambu dan Marka

Pengaturan dengan rambu dan marka pada persimpangan bertujuan agar pergerakan kendaraan dari lengan persimpangan tidak utama (*minor*) memberikan prioritas atau kesempatan bergerak bagi arus kendaraan pada lengan persimpangan utama (*major*).



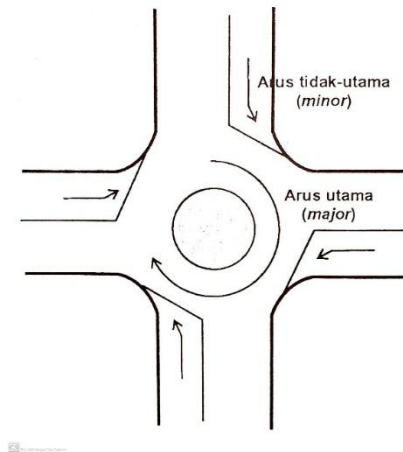
Gambar 2. 10 Persimpangan 4 Lengan dengan Pengaturan Rambu dan Marka
Sumber: Perencanaan, Pemodelan, dan Rekayasa Transportasi (Tamin, 2008)

Pada Gambar 2.10, pengaturan dilakukan dengan memasang rambu beri kesempatan (*give-way sign*) yang diletakkan pada lengan persimpangan tidak-utama (*minor*) atau dengan memasang rambu berhenti (*stop sign*), sehingga mengharuskan kendaraan pada lengan persimpangan tidak-utama (*minor*) berhenti terlebih dahulu sebelum memasuki ruang persimpangan.

d. Pengaturan dengan Bundaran

Pengaturan simpang dengan bundaran (*roundabout*) mengasumsikan bahwa ruas jalan di bundaran merupakan lengan persimpangan utama (*major*), sedangkan ruas jalan pada lengan bundaran merupakan lengan persimpangan tidak utama (*minor*).

Syarat utama berfungsinya bundaran yaitu menjamin pergerakan arus kendaraan pada ruas jalan di bundaran tidak boleh terhambat. Jika terhambat, maka seluruh sistem pergerakan pada bundaran akan terhambat total. Hal ini dapat dilakukan dengan memberlakukan aturan bahwa kendaraan dari setiap lengan bundaran (*minor*) harus memberikan kesempatan pada kendaraan yang bergerak pada ruas jalan bundaran (*major*).



Gambar 2. 11 Persimpangan Lengan Empat dengan Pengaturan Bundaran

Sumber: Perencanaan, Pemodelan, dan Rekayasa Transportasi (Tamin, 2008)

e. Pengaturan dengan Lampu Lalu Lintas

Jika volume arus kendaraan dari setiap lengan persimpangan semakin membesar, maka penanganan persimpangan sebidang tanpa lalu lintas tidak dapat lagi digunakan. Hal ini dikarenakan ruang persimpangan digunakan secara bersama oleh setiap pergerakan arus kendaraan dari setiap lengan persimpangan dan akan mengakibatkan timbulnya banyak titik konflik. Oleh sebab itu, ruang persimpangan harus digunakan secara bergantian sehingga jumlah titik konflik semakin berkurang dan kendaraan lebih bermanuver di ruang persimpangan tersebut. Pengaturan tersebut dapat dilakukan dengan menggunakan pengaturan lampu lalu lintas berdasarkan waktu fase. Fase merupakan selang waktu tertentu dimana sekelompok pergerakan kendaraan bergerak secara bersama.

2.2 Bundaran

Bundaran (*roundabout*) merupakan salah satu pengendalian persimpangan yang digunakan untuk meminimalkan konflik dan melancarkan arus lalu lintas (Abubakar dkk, 1995). Bagian jalanan majemuk atau bundaran merupakan beberapa bagian jalanan yang berurutan. Bundaran umumnya digunakan pada daerah perkotaan dan luar kota sebagai titik pertemuan antara beberapa ruas jalan dengan tingkat arus lalu lintas sedang karena mempunyai tingkat kecelakaan lalu lintas relatif lebih rendah dibandingkan jenis persimpangan bersinyal maupun tidak bersinyal (Direktorat Jenderal Bina Marga, 1997).

Bundaran dianggap sebagai kasus istimewa dari kanalisasi dikarenakan 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 menyalip dan berpindah jalur (Hobbs, 1995).

Jika kedua jalan mempunyai tingkat yang sama (tidak ada jalan utama ataupun jalan minor), maka aturan di Indonesia menyebutkan bahwa kendaraan harus memberikan prioritas kepada kendaraan lain yang datang tegak lurus dari sebelah kirinya (Munawar, 2004).

Bagian jalinan bundaran mempunyai dasar empiris yaitu alasan dalam hal aturan memberi jalan, disiplin lajur, dan antri tidak mungkin digunakannya model yang besar pada pengambilan celah. Oleh sebab itu, penggunaannya harus sesuai dengan rentang variasi untuk variabel data empiris yang digunakan. Metode ini menganggap bahwa semua alinyemen bagian jalinan berada pada kategori alinyemen datar.

Tabel 2. 1 Rentang Variasi Data Empiris untuk Variabel Masukan

Variabel	Bundaran			Tunggal		
	Min.	Rata-Rata	Maks.	Min.	Rata-Rata	Maks.
Lebar Pendekat (m)	6	9	11	8	9,6	11
Lebar Jalinan (m)	9	12,6	20	8	11,5	20
Panjang Jalinan (m)	21	33,9	50	50	96	183
Lebar/Panjang (m)	0,22	0,43	0,80	0,06	0,13	0,20
Rasio Jalinan	0,32	0,76	0,94	0,32	0,74	0,95
%-Mobil Penumpang	35	60	75	49	63	81
%-Kendaraan Berat	0	2	3	0	3	13
%-Sepeda Motor	20	33	55	16	32	45
Rasio Kendaraan Tidak Bermotor	0,01	0,05	0,18	0	0,02	0,06

Sumber: PKJI (Direktorat Jenderal Bina Marga, 2023)

2.2.1 Konsep Dasar Bundaran

Pada umumnya, bundaran mempunyai tingkat keselamatan yang lebih baik dibandingkan dengan jenis pengendalian persimpangan yang lain. Tingkat kecelakaan lalu lintas bundaran sekitar 0,3 kejadian persatu juta kendaraan (tingkat kecelakaan lalu lintas pada persimpangan bersinyal 0,43 dan simpang tak bersinyal

0,60). Karena rendahnya kecepatan lalu lintas (maksimum 50 km/jam) dan kecilnya sudut pertemuan titik konflik, maka saat melewati bundaran kendaraan tidak harus berhenti total saat volume lalu lintas rendah (Direktorat Jenderal Bina Marga, Khristy 2002 dan Lall, Pedoman Bundaran Pd T-20-2004-B).

Bundaran digunakan di daerah perkotaan dan pedalam bagi persimpangan antara jalan dengan arus sedang. Peraturan Pemerintah Nomor 43 Tahun 1993 Pasal 63 tentang Prasarana dan Lalu Lintas Jalan menyebutkan bahwa persimpangan sebidang yang tidak dikendalikan dengan alat isyarat lalu lintas, pengemudi wajib memberikan hak utama kepada: 1) kendaraan yang datang dari arah cabang persimpangan empat atau lebih dan sama besar, 2) kendaraan yang datang dari arah cabang persimpangan yang lurus pada persimpangan tiga tegak lurus.

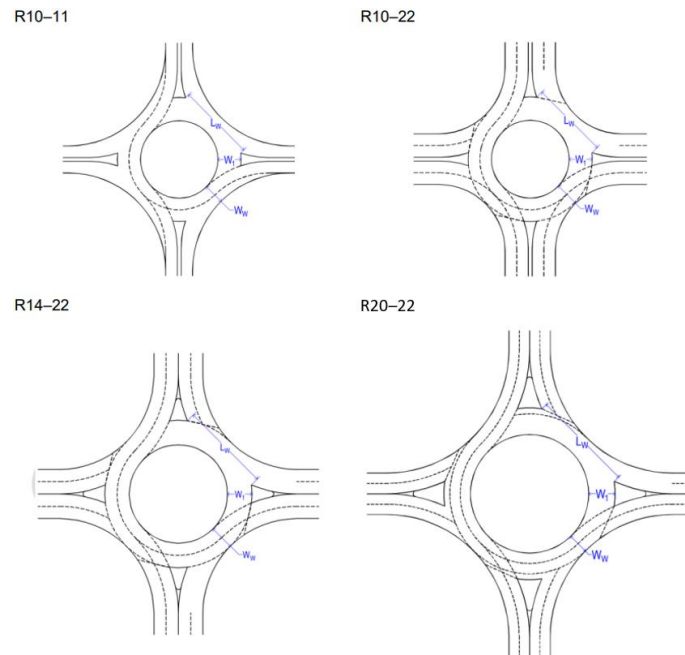
Menurut O' Flaherty (1997), bundaran sangat efektif digunakan sebagai suatu pengendalian persimpangan di daerah perkotaan dan luar kota yang memiliki beberapa karakteristik sebagai berikut:

1. Presentase volume lalu lintas yang belok kanan sangat banyak.
2. Tidak memungkinkan untuk membuat persimpangan dengan prioritas dari berbagai arah lengan pendekat.
3. Tidak seimbangny jumlah kejadian kecelakaan yang melibatkan pergerakan bersilang maupun menikung.
4. Mengurangi tundaan jika dibandingkan penggunaan persimpangan bersinyal.
5. Terdapat perubahan dari jalan dua arah menjadi jalan satu arah.

Tujuan digunakannya bundaran yaitu untuk memperlambat kecepatan kendaraan namun tidak menghambat kendaraan secara besar seperti halnya ketika arus berhenti disaat lampu merah menyala. Penggunaan bundaran sangat cocok digunakan untuk kendaraan dengan kecepatan tinggi.

2.2.2 Tipe Bundaran

Bundaran efektif apabila digunakan untuk persimpangan antara jalan dengan ukuran dan tingkat arus yang sama. Oleh sebab itu, bundaran sangat sesuai bagi persimpangan antara jalan dua lajur ataupun empat lajur.



Gambar 2. 12 Ilustrasi Tipe Bundaran

Sumber: PKJI (Direktorat Jenderal Bina Marga, 2023)

Tabel 2. 2 Tipe Bundaran

Tipe Bundaran	Jari-Jari Bundaran (m)	Jumlah Lajur Masuk	Lebar Lajur Masuk W_1 (m)	Panjang Jalinan 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 – 22	14	2	7,0	31	9
R20 – 22	20	2	7,0	43	9

Sumber: PKJI (Direktorat Jenderal Bina Marga, 2023)

Makna dari kode tersebut yaitu misalnya bundaran dengan tipe R10-11, artinya radius bundaran tersebut adalah sepuluh meter, satu lajur pada pendekat minor dan satu lajur pada pendekat mayor (utama). Semua jenis bundaran dianggap mempunyai kerb dan trotoar yang cukup, serta ditempatkan di daerah perkotaan dengan hambatan samping sedang.

Bundaran lalu lintas kecil merupakan bundaran dengan ukuran diameter lebih kecil atau sama dengan 4 meter. Bundaran lalu lintas sedang merupakan

bundaran lalu lintas dengan ukuran diameter antara 4-25 meter. Bundaran konvensional merumakan bundaran dengan ukuran diameter di atas 25 meter, biasanya oleh pemerintah dikombinasikan dengan monumen, patung, maupun air mancur untuk memperindah kota.

2.2.3 Ukuran Kinerja Bundaran

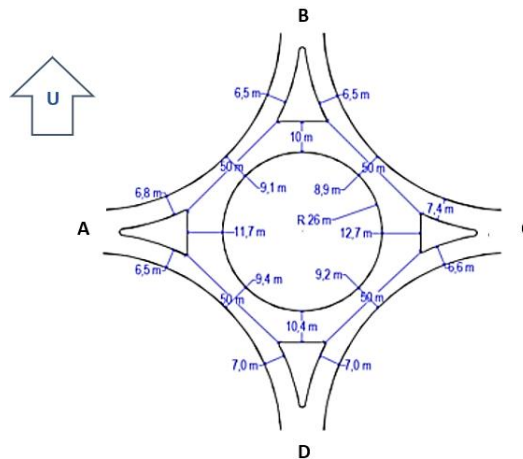
Kinerja suatu bundaran dapat dikatakan baik apabila kapasitas bundaran tinggi dibandingkan dengan volume lalu lintas yang dilayani. Perbandingan ini bisa disebut dengan derajat kejenuhan (D_J). Semakin rendah nilai derajat kejenuhan bundaran, maka semakin baik pula kinerja bundaran. Nilai derajat kejenuhan (D_J) yang digunakan sebagai batasan kinerja yaitu $\leq 0,85$. Selain itu juga terdapat tundaan dan peluang antrian bundaran yang menjadi ukuran kinerja bundaran, namun besarnya sangat tergantung dari nilai derajat kejenuhan bundaran.

2.2.4 Data Masukan

Data masukan yang diperlukan yaitu data arus lalu lintas eksisting dan data arus lalu lintas rencana dengan fungsi yang berbeda. Data lalu lintas eksisting digunakan untuk melakukan evaluasi kinerja lalu lintas berupa arus lalu lintas per jam eksisting pada jam tertentu atau jam sibuk (*peak hour*). Sedangkan, data lalu lintas rencana digunakan untuk menetapkan lebar jalur dan lajur lalu lintas. Kementerian Pekerjaan Umum (2023) menjelaskan bahwa terdapat beberapa data yang diperlukan untuk melakukan analisis perhitungan kinerja simpang, yaitu data geometrik simpang, data lalu lintas, dan data kondisi lingkungan simpang.

1. Kondisi Geometri

Kondisi geometrik simpang digambarkan dalam bentuk sketsa dan diperoleh dari pengukuran dan pengamatan langsung geometrik simpang di lapangan berupa panjang jalan, lebar jalan, lebar bahu jalan, lebar trotoar, lebar kerb jalan, tipe jalan, jumlah lajur, dan arah. Masing-masing lengan pendekat diberi notasi. Notasi B dan D untuk jalan mayor, sedangkan notasi A dan C untuk jalan minor. Jalan mayor adalah jalan dengan tingkat kepentingan tinggi dibandingkan dengan jalan minor yang merupakan jalan dengan tingkat kepentingan rendah pada suatu persimpangan dari segi kepadatan lalu lintas maupun geometrik tiap pendekat (Direktorat Jenderal Bina Marga, 2023). Urutan pemberian notasi diawali dari Utara dengan notasi A dan seterusnya searah jarum jam.



Gambar 2. 13 Sketsa Geometrik Bundaran

Sumber: PKJI (Direktorat Jenderal Bina Marga, 2023)

2. Kondisi Lalu Lintas

Data masukan kondisi lalu lintas terbagi menjadi tiga, yaitu:

- Sketsa arus lalu lintas menggambarkan berbagai gerakan dan arus lalu lintas dari setiap pendekat dan nilai arusnya dinyatakan dalam satuan kend/jam atau smp/jam.
- Komposisi lalu lintas seperti SM, MP, dan KB dalam persen.
- Arus kendaraan tidak bermotor dicatat guna menentukan rasio kendaraan tidak bermotor. Jika arus yang ada dalam bentuk LHRT (Lalu Lintas Harian Rata-Rata Tahunan), maka harus menggunakan faktor k yang sesuai untuk dikonversi ke satuan smp/jam. Jika nilai faktor k tidak tersedia, maka gunakan nilai *default* faktor k dengan nilai 7% - 12%. Nilai yang kecil digunakan untuk simpang dengan lalu lintas yang lebih padat dan besar untuk lalu lintas yang lebih lenggang.

Data arus lalu lintas diperoleh dari hasil survei perhitungan jumlah kendaraan dengan klasifikasi tiap kendaraan.

Tabel 2. 3 Klasifikasi Kendaraan

Kode	Jenis Kendaraan	Tipikal Kendaraan
SM	Kendaraan bermotor roda 2 (dua) dan 3 (tiga) dengan panjang < 2,5 m	Sepeda motor, kendaraan bermotor roda 3 (tiga)

Kode	Jenis Kendaraan	Tipikal Kendaraan
MP	Mobil penumpang 4 (empat) tempat duduk, dan 7 (tujuh) tempat duduk, mobil angkutan barang kecil, mobil angkutan barang sedang dengan panjang $\leq 5,5$ m	Sedan, <i>jeep</i> , minibus, mikrobus, <i>pickup</i> , truk kecil
KS	Bus sedang dan mobil angkutan barang 2 (dua) sumbu dengan panjang $\leq 9,0$ m	Bus tanggung, bus metromini, truk sedang
KB	Bus besar 2 (dua) dan 3 (tiga) gandar dengan panjang $\leq 12,0$ m	Bus antar kota, bus <i>double decker city tour</i>
TB	Mobil angkutan barang 3 (tiga) sumbu, truk gandeng, dan truk tempel (<i>semitrailer</i>) dengan panjang $\leq 12,0$ m	Truk tronton, truk <i>semi trailer</i> , truk gandeng
KTB	Kendaraan tidak bermotor	Sepeda, becak, dokar, kretek, andong

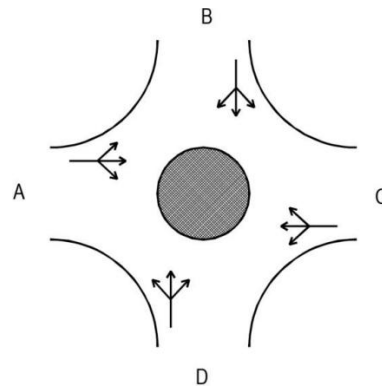
Sumber: PKJI (Direktorat Jenderal Bina Marga, 2023)

Data pergerakan lalu lintas yang dibutuhkan adalah volume dan arah gerakan lalu lintas pada jam sibuk (*peak hour*) karena diasumsikan waktu tersebut memiliki volume lalu lintas tertinggi. Perkiraan dalam jam sibuk (*peak hour*) terjadi akibat aktivitas pengguna jalan seperti berangkat dan pulang kerja, aktivitas para pelajar, serta aktivitas wisatawan untuk berlibur. Klasifikasi kendaraan diperlukan untuk mengkonversikan kendaraan ke dalam bentuk satuan smp/jam menggunakan nilai ekuivalen mobil penumpang (emp). Hasil konversi kemudian ditotal untuk setiap jenis kendaraan dari masing-masing pendekatan yang dibedakan menjadi jalan mayor dan jalan minor, serta dari tiap pergerakan yang berbeda.

Tabel 2. 4 Nilai emp Tiap Jenis Kendaraan

Tipe Kendaraan	Nilai emp
Mobil Penumpang (MP)	1,0
Kendaraan Sedang (KS)	1,3
Sepeda Motor (SM)	0,5

Sumber: PKJI (Direktorat Jenderal Bina Marga, 2023)



Gambar 2. 14 Sketsa Arus Lalu Lintas Bagian Jalinan Bundaran

Sumber : PKJI (Direktorat Jenderal Bina Marga, 2023)

Data arus lalu lintas sering tidak ada atau kualitasnya kurang dapat dipertanggungjawabkan. Maka, untuk mengatasi hal tersebut digunakan nilai normal variabel umum lalu lintas sebagai kontrol terhadap data dan nilai awal jika data belum tersedia.

Tabel 2. 5 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

Sumber: PKJI (Direktorat Jenderal Bina Marga, 2023)

Tabel 2. 6 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	55,0	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
Catatan: q_{KB} = arus lalu lintas kendaraan bermotor				

Sumber: PKJI (Direktorat Jenderal Bina Marga, 2023)

Data arus lalu lintas yang diperlukan untuk perhitungan rasio jalinan dan rasio kendaraan tidak bermotor yang memasuki bagian jalinan bundaran yaitu jumlah lengan simpang dan arah gerakannya. Untuk bundaran dengan empat lengan atau lebih dapat dihitung menggunakan rumus sebagai berikut.

Tabel 2. 7 Perhitungan Arus Masuk Bagian Jalinan Bundaran

Bagian Jalinan	Arus Masuk Bundaran (Q_{masuk})	Arus Masuk Bagian Jalinan (Q_{tot})	Arus Menjalin (Q_{mi})	Rasio Menjalin (R_{mi})
AB	$A = A_{BK_i} + A_{LRS} + A_{BK_a} + A_{UT}$	$A + D - D_{BK_i} + C_{BK_a} + C_{UT} + B_{UT}$	$A - A_{BK_i} + D_{LRS} + C_{BK_a} + B_{UT}$	Q_{miAB}/Q_{AB}
BC	$B = B_{BK_i} + B_{LRS} + B_{BK_a} + B_{UT}$	$B + A - A_{BK_i} + D_{BK_a} + D_{UT} + B_{UT}$	$B - B_{BK_i} + A_{LRS} + D_{BK_a} + C_{UT}$	Q_{miBC}/Q_{BC}
CD	$C = C_{BK_i} + C_{LRS} + C_{BK_a} + C_{UT}$	$C + B - B_{BK_i} + A_{BK_a} + A_{UT} + B_{UT}$	$C - C_{BK_i} + B_{LRS} + A_{BK_a} + D_{UT}$	Q_{miCD}/Q_{CD}
DA	$D = D_{BK_i} + D_{LRS} + D_{BK_a} + D_{UT}$	$D + C - C_{BK_i} + B_{BK_a} + B_{UT} + B_{UT}$	$D - D_{BK_i} + C_{LRS} + B_{BK_a} + A_{UT}$	Q_{miDA}/Q_{DA}

Rasio kendaraan tidak bermotor untuk bagian jalinan secara menyeluruh diperoleh dari hasil pembagian arus tidak bermotor total dengan arus total dalam kend/jam.

$$R_{KTB} = q_{KTB}/q_{KB} \quad (2.1)$$

Keterangan :

R_{KTB} : Rasio Kendaraan Tidak Bermotor

q_{KTB} : Arus kendaraan tidak bermotor (kend/jam)

q_{KB} : Arus kendaraan bermotor (kend/jam)

3. Kondisi Lingkungan

Data kondisi lingkungan dapat diketahui melalui dua paramater, yaitu ukuran kota dan gabungan antara tipe lingkungan, hambatan samping, dan kendaraan tak bermotor. Data tersebut ditetapkan secara kualitatif dari pertimbangan teknik lalu lintas.

a. Ukuran Kota

Ukuran kota ditentukan berdasarkan jumlah penduduk kota yang dinyatakan dalam juta jiwa.

Tabel 2. 8 Faktor Koreksi Ukuran Kota

Ukuran Kota	Penduduk (Juta)	Faktor Koreksi Ukuran Kota (F_{UK})
Sangat Kecil	<0,1	0,82

Ukuran Kota	Penduduk (Juta)	Faktor Koreksi Ukuran Kota (F_{UK})
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

Sumber: PKJI (Direktorat Jenderal Bina Marga, 2023)

b. Tipe Lingkungan

Kelas tipe lingkungan jalan diklasifikasikan berdasarkan tata guna lahan dan aksesibilitas jalan tersebut dari aktivitas disekitarnya. Data tersebut ditentukan secara kualitatif dari pertimbangan teknik lalu lintas yang ada.

Tabel 2. 9 Kelas Tipe Lingkungan Jalan

Kelas Tipe Lingkungan Jalan	Kondisi Lingkungan Jalan
Komersial	Lahan yang digunakan untuk kepentingan komersial (misalnya pertokoan, rumah makan, perkantoran) dengan jalan masuk langsung bagi pejalan kaki dan kendaraan.
Pemukiman	Lahan digunakan untuk tempat tinggal dengan jalan masuk langsung bagi pejalan kaki maupun kendaraan.
Akses Terbatas	Lahan tanpa jalan masuk tanpa jalan masuk atau jalan masuk langsung terbatas (misalnya karena adanya penghalang fisik, jalan samping, dan sebagainya).

Sumber: PKJI (Direktorat Jenderal Bina Marga, 2023)

c. Kelas Hambatan Samping

Hambatan samping merupakan pengaruh aktivitas samping jalan di daerah persimpangan pada arus berangkat lalu lintas, seperti pejalan kaki berjalan atau menyeberangi jalur, angkutan kota dan bis yang berhenti untuk menaikkan atau menurunkan penumpang, kendaraan masuk dan keluar halaman, dan tempat parkir yang di luar jalur.hambatan samping tersebut ditentukan secara kualitatif.

Tabel 2. 10 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 atau turun penumpang atau ngetem angkutan umum, pejalan kaki dan atau pedagang kaki lima di sepanjang atau melintas pendekat, kendaraan keluar atau masuk samping pendekat.
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.

Sumber: PKJI (Direktorat Jenderal Bina Marga, 2023)

Tabel 2. 11 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	$\geq 0,25$
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
Akses Terbatas	Tinggi/Sedang/Rendah	1,00	0,95	0,90	0,85	0,80	0,75

Sumber: PKJI (Direktorat Jenderal Bina Marga, 2023)

Tabel 2.11 disusun dengan anggapan bahwa pengaruh KTB terhadap kapasitas dasar adalah sama dengan pengaruh mobil penumpang, sehingga $emp_{KTB} = 1,0$. Persamaan berikut dapat digunakan untuk menghitung F_{HS} jika diyakini dengan cukup bukti bahwa $emp_{KTB} \neq 1,0$ (misalnya untuk KTB berupa sepeda).

$$F_{HS}(R_{KTB} \text{ sesungguhnya}) = F_{HS}(R_{KTB} = 0) \times (1 - R_{KTB} \times emp_{KTB}) \quad (2.2)$$

2.2.5 Kapasitas Dasar

Kapasitas dasar (C_0) merupakan kapasitas pada geometri dan presentase jalinan tertentu tanpa induksi faktor koreksi. Kapasitas dasar ditentukan berdasarkan tipe jalinan atau bundaran.

$$C_0 = 135 \times W_W^{1,3} \times \left(1 + \frac{W_E}{W_W}\right)^{1,5} \times \left(1 - \frac{P_W}{3}\right)^{0,5} \times \left(1 + \frac{W_W}{L_W}\right)^{-1,8} \quad (2.3)$$

Keterangan:

C_0 : Kapasitas dasar (smp/jam)

W_E : Lebar masuk rata-rata (m)

W_W : Lebar jalinan (m)

L_W : Panjang jalinan (m)

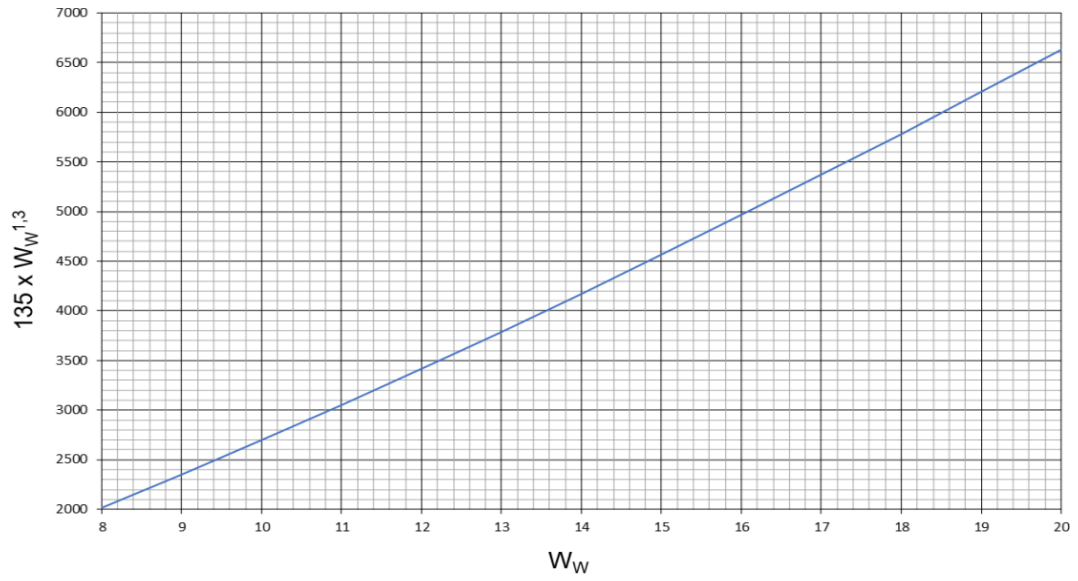
W_W/L_W : Rasio lebar jalinan terhadap Panjang jalinan

P_W : Rasio menjalin

Untuk faktor-faktor yang terdapat pada kapasitas dasar seperti faktor

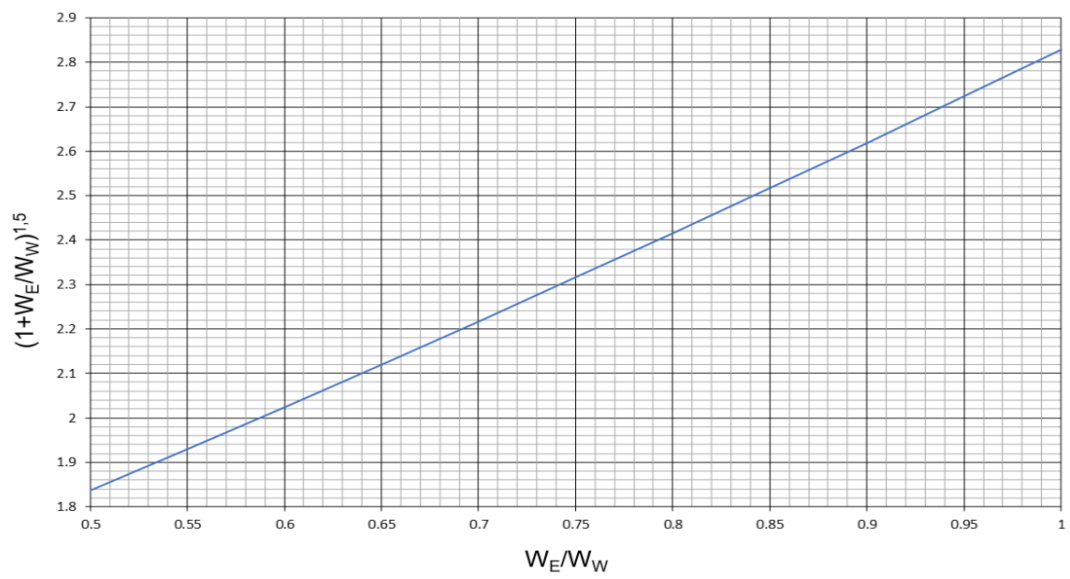
$$W_W = 135 \times W_W^{1,3}, \text{ faktor } \frac{W_E}{W_W} = \left(1 + \frac{W_E}{W_W}\right)^{1,5}, \text{ faktor } P_E = \left(1 - \frac{P_W}{3}\right)^{0,5}, \text{ dan}$$

$$\text{faktor } \frac{W_E}{L_W} = \left(1 + \frac{W_W}{L_W}\right)^{-1,8} \text{ dapat ditentukan menggunakan kurva sebagai berikut:}$$



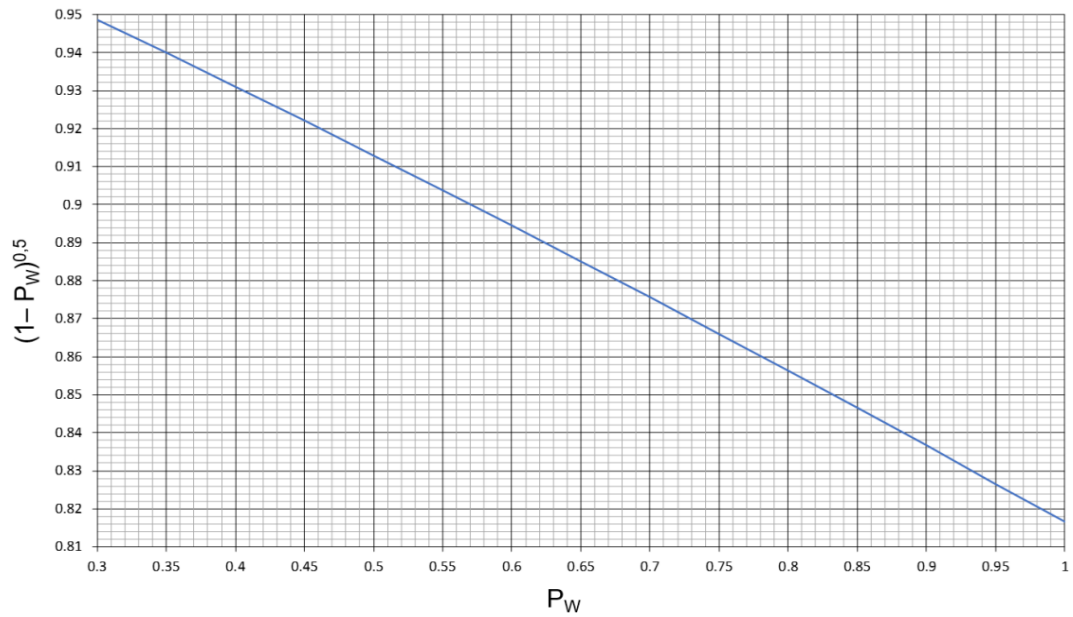
Gambar 2. 15 Penentuan Faktor W_W

Sumber: Direktorat Jenderal Bina Marga



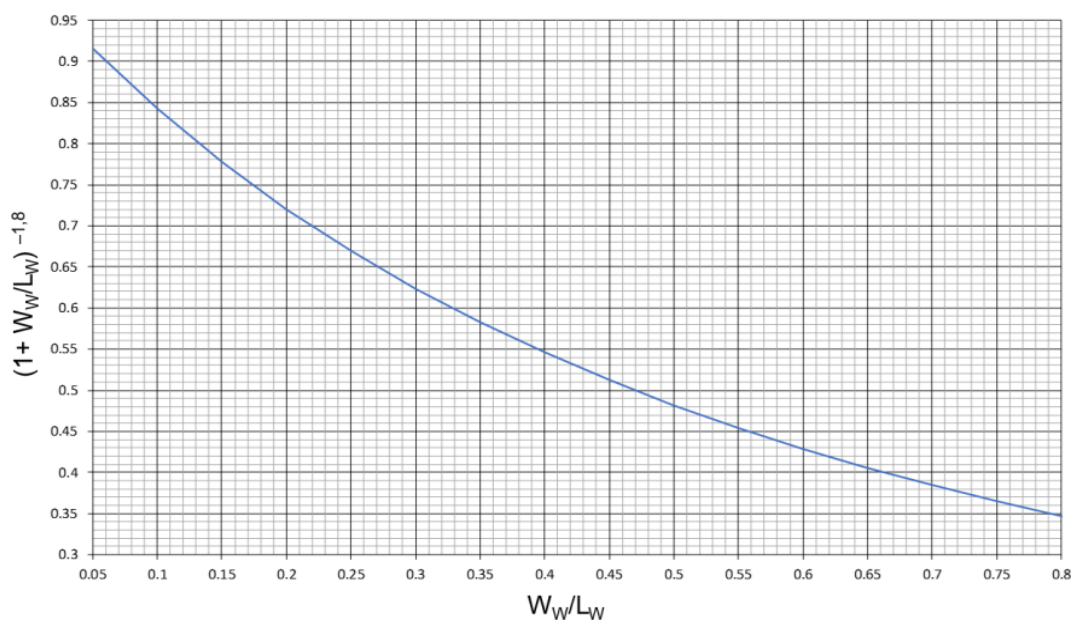
Gambar 2. 16 Penentuan Faktor W_E/W_W

Sumber: Direktorat Jenderal Bina Marga



Gambar 2. 17 Penentuan Faktor P_W

Sumber: Direktorat Jenderal Bina Marga



Gambar 2. 18 Penentuan Faktor W_W/L_W

Sumber: Direktorat Jenderal Bina Marga

2.2.6 Kapasitas

Kapasitas (C) merupakan total maksimum arus lalu lintas yang masuk ke seluruh lengan bagian jalinan atau bundaran dan dapat dipertahankan selama waktu paling sedikit satu jam pada kondisi cuaca dan geometrik yang ada pada saat itu (eksisting) dalam satuan kend/jam atau smp/jam. Kapasitas jalinan atau bundaran

dapat diperoleh dengan cara perkalian antara kapasitas dasar (C_0) dengan faktor-faktor koreksi yang memperhitungkan perbedaan kondisi lingkungan di lapangan terhadap kondisi idealnya.

$$C = C_0 \times F_{UK} \times F_{RSU} \quad (2.4)$$

Keterangan:

C : Kapasitas (smp/jam)

C_0 : Kapasitas dasar (smp/jam)

F_{UK} : Faktor koreksi ukuran kota

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

2.2.7 Derajat Kejenuhan

Derajat kejenuhan adalah rasio arus lalu lintas (smp/jam) terhadap kapasitas (smp/jam) yang digunakan sebagai faktor utama dalam menilai dan menentukan tingkat kinerja suatu segmen jalan (Direktorat Jenderal Bina Marga, 2014).

Nilai derajat kejenuhan (D_J) mencerminkan kualitas pelayanan jalan, apakah segmen jalan tersebut memberikan pelayanan yang baik atau dimensi jalan yang ada mengalami suatu masalah. Derajat kejenuhan yang terjadi harus di bawah 0,85 agar memiliki kinerja yang baik. Apabila $D_J > 0,85$ menunjukkan bahwa kinerja segmen jalan tersebut perlu mempertimbangkan peningkatan kapasitas seperti penambahan jalur atau menerapkan manajemen lalu lintas. Derajat kejenuhan dapat dihitung menggunakan rumus berikut:

$$D_J = \frac{q}{C} \quad (2.5)$$

Keterangan:

D_J : Derajat kejenuhan

q : Arus lalu lintas total (smp/jam)

C : Kapasitas (smp/jam)

$$q = q_{kend} \times F_{skr} \quad (2.6)$$

Keterangan:

F_{smp} : Faktor *smp*

$$F_{skr} = ekr_{KR} \times \%q_{KR} + ekr_{KS} \times \%q_{KS} + ekr_{SM} \times \%q_{SM} \quad (2.7)$$

Keterangan:

emp_{MP} , emp_{KS} , emp_{SM} masing-masing adalah emp untuk MP, KB, dan SM yang dapat diperoleh dari Tabel A.1. dalam Lampiran A. q_{MP} , q_{KB} , q_{SM} masing-masing adalah q untuk MP, KB, dan SM.

2.2.8 Tundaan

Menurut Direktorat Jenderal Bina Marga (2014), tundaan adalah waktu tempuh tambahan yang digunakan pengemudi untuk melalui suatu simpang yang dibandingkan dengan lintasan tanpa simpang. Tundaan dinyatakan dalam smp/jam. Tundaan akan meningkat secara berarti dengan bertambahnya arus total, yaitu arus lalu lintas pada jalan utama dan jalan simpang.

a. Tundaan Lalu Lintas Bagian Jalinan Bundaran

Tundaan lalu lintas pada bagian jalinan dan bundaran merupakan tundaan rata-rata lalu lintas per kendaraan yang masuk ke bagian jalinan dengan menggunakan rumus empiris sebagai fungsi dari derajat kejenuhan.

$$\text{Untuk } D_J \leq 0,60 : T_R = 2 + 2,68982 \times D_J - (1 - D_J) \times 2 \quad (2.8)$$

$$\text{Untuk } D_J > 0,60 : T_R = \frac{1}{0,59186 - 0,52525 \times D_J} - (1 - D_J) \times 2 \quad (2.9)$$

b. Tundaan Lalu Lintas Bundaran

Tundaan lalu lintas bundaran adalah tundaan rata-rata perkendaraan yang masuk kedalam bundaran. Tundaan lalu lintas dapat dihitung menggunakan rumus berikut:

$$T_{LL} = \sum_{i=1}^n \frac{q_i \times T_{Ri}}{q_{masuk}} \quad (2.10)$$

Keterangan:

T_{LL} : Tundaan lalu lintas bundaran

q_i : Arus total yang masuk bagian jalinan ke i (smp/jam)

T_{Ri} : Tundaan lalu lintas rata-rata pada bagian jalan ke i (smp/jam)

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

c. Tundaan Bundaran

Tundaan bundaran adalah tundaan lalu lintas rata-rata per kendaraan masuk bundaran. Tundaan bundaran dihitung menggunakan rumus berikut:

$$T = T_{LL} + T_{gg} \quad (2.11)$$

Keterangan:

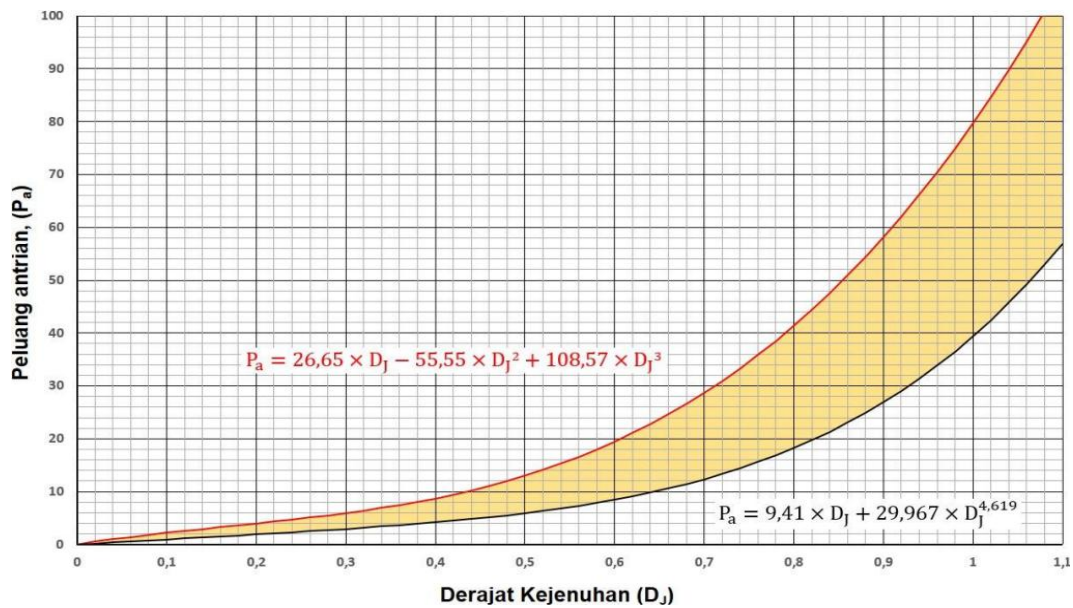
T : Tundaan bundaran

T_{LL} : Tundaan lalu lintas rata-rata pada bundaran (detik/smp)

T_G : Tundaan geometrik (detik/smp)

2.2.9 Peluang Antrian

Peluang antrian (P_a) pada bagian jalinan ditentukan berdasarkan kurva empiris. Nilai P_a bundaran diambil dari P_a sebagai ingat pembawaannya.



Gambar 2. 19 Kurva Peluang Antrian

Sumber: Direktorat Jenderal Bina Marga

2.3 Tingkat Pelayanan (*Level of Service*)

Tingkat pelayanan atau *level of service* (LOS) adalah kemampuan suatu ruas jalan atau persimpangan untuk menampung lalu lintas pada keadaan tertentu (Peraturan Menteri Perhubungan, 2006). Tingkat pelayanan juga merupakan suatu ukuran kuantitatif dan kualitatif yang menggambarkan kondisi operasional lalu lintas ruas jalan atau persimpangan. Menurut tingkat pelayanan harus memenuhi beberapa indikator seperti rasio antara volume dan kapasitas jalan, kecepatan, waktu perjalanan, kebebasan bergerak, keamanan, keselamatan, ketertiban, kelancaran, serta penilaian pengemudi terhadap kondisi arus lalu lintas. Oleh karena itu, tingkat pelayanan perlu didapatkan secara maksimal agar dapat memenuhi operasional lalu lintas kendaraan yang melintas dengan volume yang tinggi sekalipun (Peraturan Menteri Perhubungan, 2015).

Semua tipe tingkat pelayanan dibatasi dari fasilitas lalu lintas yang akan digunakan dalam prosedur analisis yang disimbolkan dengan huruf A sampai dengan F dimana tingkat pelayanan A menunjukkan tingkat pelayanan terbaik dan tingkat pelayanan F menunjukkan tingkat pelayanan terburuk. Tingkat pelayanan pada simpang meninjau rata-rata kondisi tundaan dalam satuan detik perkendaraan (*second/vehicle*).

Standarisasi nilai tingkat pelayanan pada ruas jalan berdasarkan Peraturan Menteri Perhubungan Nomor 96 Tahun 2015 dapat dilihat pada tabel berikut.

Tabel 2. 12 Tingkat Pelayanan Pada Ruas Jalan

LoS	Interval	Keterangan
A	0,00 – 0,19	Arus bebas dengan volume lalu lintas rendah dan kecepatan tinggi. Pengemudi dapat memilih kecepatan yang diinginkan tanpa hambatan.
B	0,20 – 0,44	Arus stabil dengan volume lalu lintas sedang dan kecepatan tinggi. Pengemudi memiliki kebebasan yang cukup untuk memilih kecepatannya.
C	0,45 – 0,74	Arus stabil tetapi pergerakan kendaraan dikendalikan oleh volume lalu lintas. Pengemudi dibatasi dalam memilih kecepatannya.
D	0,75 – 0,84	Arus mendekati tidak stabil dengan volume lalu lintas tinggi. Pengemudi memiliki kebebasan yang sangat terbatas dalam menjalankan kendaraan, kenyamanan rendah, tetapi kondisi ini masih dapat ditolerir untuk waktu yang singkat.
E	0,85 – 1,00	Arus mendekati tidak stabil dengan volume lalu lintas mendekati kapasitas jalan dan kecepatan rendah. Pengemudi mulai merasakan kemacetan-kemacetan durasi pendek.
F	> 1,00	Arus tertahan dan terjadi antrian kendaraan yang panjang dan kecepatan sangat rendah.

Sumber: Peraturan Menteri Nomor 96 Tahun 2015

Menurut Peraturan Menteri Perhubungan Nomor 96 Tahun 2015 tentang Tingkat Pelayanan pada Persimpangan, diklasifikasikan sebagai berikut:

Tabel 2. 13 Tingkat Pelayanan Pada Persimpangan

Tingkat Pelayanan	Tundaan (detik/smp)	Keterangan
A	≤ 10	Arus sangat lancar
B	> 10 dan ≤ 20	Arus lancar
C	> 20 dan ≤ 35	Tundaan sedang
D	> 35 dan ≤ 55	Tundaan tinggi
E	> 55 dan ≤ 80	Padat, mendekati jenuh
F	≥ 80	Simpang jenuh, tidak layak

Sumber: *Highway Capacity Manual 2000*

2.4 Proyeksi Kinerja 5 Tahun Mendatang

Proyeksi kinerja lalu lintas perlu dilakukan untuk mengetahui gambaran kinerja lalu lintas di masa mendatang. Proyeksi kinerja lalu lintas dapat diperoleh dengan menghitung proyeksi pertumbuhan kendaraan terlebih dahulu, kemudian akan didapat juga proyeksi arus lalu lintas untuk tahun mendatang.

Laju pertumbuhan kendaraan merupakan angka yang menunjukkan rata-rata tingkat pertambahan kendaraan per tahun dalam jangka waktu tertentu. Metode yang digunakan dalam perhitungan laju pertumbuhan kendaraan yaitu metode geometrik.

$$P_n = P_0(1 + r)^n \text{ dengan } r = \left(\frac{P_n}{P_0}\right)^{\frac{1}{n}} - 1 \quad (2.12)$$

Keterangan:

P_n : Jumlah kendaraan pada tahun n

P_0 : Jumlah kendaraan pada tahun dasar

r : Laju pertumbuhan kendaraan

n : Periode waktu antara tahun dasar dan tahun t (dalam tahun)

2.5 PTV Vissim

Menurut Haryadi, dkk (2017), Vissim merupakan simulasi mikroskopis berdasarkan waktu dan perilaku yang dikembangkan untuk model lalu lintas perkotaan. Perangkat lunak ini dikembangkan oleh PTV (Planung Transport Verkehr AG) di Karlsruhe, Jerman pada tahun 1992 dengan nama asal dari bahasa Jerman yaitu “*Verkehr In Städten – Simulations Modell*” yang berarti model simulasi lalu lintas kota.

Vissim berfungsi sebagai perangkat lunak yang dapat menganalisa operasi atau pergerakan lalu lintas berdasarkan batasan konfigurasi garis jalan, komposisi lalu lintas, tempat perhentian, dan lain sebagainya. Simulasi menggunakan Vissim ini juga bermanfaat mengurangi dana dari perancangan yang akan dibuat secara nyata. Perangkat lunak ini menampilkan simulasi dengan berbagai jenis karakteristik kendaraan yang ada di kehidupan sehari-hari seperti *vehicles* (mobil, bus, truk), *public transport* (tram, bus), *cycles* (sepeda, sepeda motor), dan pejalan kaki. Simulasi tersebut ditampilkan secara visual 3 dimensi tiap pergerakan dari berbagai jenis kendaraan yang digunakan dalam suatu pemodelan simulasi.

Simulasi dengan menggunakan perangkat lunak PTV Vissim disajikan dari suatu pemodelan arus lalu lintas pada ruas jalan atau persimpangan yang akan ditinjau. Pemodelan tersebut memerlukan data-data yang akan diinput dalam pengerjaan simulasi dari hasil penelitian di lapangan. Data yang digunakan dalam pemodelan PTV Vissim yaitu sebagai berikut:

1. Peta atau Denah Satelit Lokasi

Peta satelit berfungsi sebagai *background* dalam suatu simulasi arus lalu lintas yang ditampilkan secara visual 3 dimensi. Penggunaan peta satelit yaitu untuk memperjelas lokasi dalam pemodelan dengan keadaan asli.

2. Geometrik Jalan

Geometrik jalan berfungsi untuk pembuatan jaringan jalan dalam pemodelan sesuai dengan kondisi jalan yang ada dan dihubungkan tiap pergerakannya. Data geometrik jalan berupa tipe jalan (jumlah jalur dan lajur) dan lebar badan jalan.

3. Tipe Kendaraan

Tipe kendaraan dalam pemodelan sesuai dengan klasifikasi pedoman atau peraturan yang digunakan. Tiap tipe kendaraan akan dimodelkan dalam bentuk 2 dimensi atau 3 dimensi yang dimasukkan dalam simulasi lalu lintas.

4. Kecepatan Kendaraan

Kecepatan kendaraan sebagai batas kecepatan yang ditentukan pada daerah tersebut pada tiap tipe kendaraan (Haryadi dkk., 2017). Data kecepatan kendaraan minimum dan maksimum yang dimasukkan dalam satuan km/jam.

5. Volume Arus Lalu Lintas

Volume arus lalu lintas diperoleh dari hasil *traffic counting* atau perhitungan volume lalu lintas dan lainnya dalam suatu penelitian secara langsung. Dalam pemodelan Vissim dimasukkan volume pada tiap tipe kendaraan untuk masing-masing lengan dalam satuan kend/jam.

2.5.1 Parameter Kalibrasi PTV Vissim

Pada perangkat lunak Vissim terdapat 168 parameter yang tersedia. Berdasarkan parameter tersebut dipilih beberapa parameter yang sesuai dengan kondisi lalu lintas heterogen yang ada di Indonesia untuk menghasilkan model yang sesuai dengan kondisi lapangan. Menurut Marissa Ulfah (2017), parameter yang dipilih pada pemodelan tersebut antara lain:

a. *Standstill Distance in Front of Obstacle*

Parameter jarak aman ketika kendaraan akan berhenti akibat kendaraan yang berhenti atau melakukan perlambatan akibat hambatan dengan satuan meter.

b. *Observed Vehicle in Front*

Parameter jumlah kendaraan yang diamati oleh pengemudi ketika ingin melakukan pergerakan atau reaksi. Nilai *default* parameter ini adalah satu, dua, tiga, dan empat dengan satuan unit kendaraan.

c. *Minimum Headway*

Jarak minimum yang tersedia bagi kendaraan yang di depan untuk melakukan perpindahan lajur atau menyiap. Nilai *default* berkisar sampai 0.5 – 3 detik.

d. *Additive Factor Security*

Nilai tambahan untuk sebagai parameter jarak aman kendaraan yang akan berhenti. Nilai yang disarankan untuk parameter ini adalah 0.45 – 2.

e. *Multiplicative Factor Security*

Faktor pengali jarak aman kendaraan pada saat akan berhenti. Nilai ini berkisar 1 – 3.

f. *Lane Change Rule*

Mode perilaku pengemudi pada saat melintas, untuk lalu lintas heterogen sangat cocok menggunakan mode *free lane change* yang memungkinkan kendaraan menyelinap bebas.

g. *Overtake at Sane Line*

Perilaku pengemudi kendaraan yang ingin menyalip pada lajur yang sama baik dari sebelah kanan maupun sisi sebelah kiri.

h. *Desired Lateral Position*

Posisi kendaraan pada saat berada di lajur artinya kendaraan dapat berada di samping kiri maupun samping kanan kendaraan lain.

i. *Lateral Minimum Distance*

Jarak aman pengemudi pada saat berada di samping kendaraan yang lain. Parameter ini dibagi menjadi dua bagian, yaitu jarak kendaraan ketika berada di kecepatan 0 km/jam dan 50 km/jam yang artinya nilai parameter untuk parameter ini berbeda. Nilai ini berkisar antara 0.2 – 1 meter.

j. *Safety Distance Reduction*

Jarak aman antar kendaraan di depan dan di belakang atau jarak *gap* dan *clearing* antar kendaraan, ini merupakan parameter yang sangat menentukan karena tiap kondisi lalu lintas mempunyai nilai jarak aman yang berbeda.

2.5.2 Tahapan Pemodelan Simulasi

Menurut Prima J. Romadhona, dkk (2019), tahapan pemodelan simulasi menggunakan PTV Vissim adalah sebagai berikut:

1. Menginput *Background*

Penggunaan *background* bertujuan untuk mempermudah pembuatan simulasi dalam mode *offline* dengan cara menginput *screenshot* peta lokasi yang diperlukan. Peta lokasi diperoleh dari Google Maps ataupun Google Earth.

2. Membuat Jaringan Jalan (*Links* dan *Connectors*)

Pada tahap ini, dilakukan penggambaran jaringan jalan sesuai kondisi lapangan dengan mengatur lebar dan jumlah lajur yang ada.

3. Menentukan Jenis Kendaraan

Pada tahap ini dilakukan penentuan jenis kendaraan berdasarkan data pengelompokan jenis kendaraan yang melewati persimpangan tersebut, yaitu sepeda motor (SM), mobil penumpang (MP), kendaraan berat (KB), dan kendaraan tidak bermotor (KTB).

4. Menginput Kecepatan Kendaraan (*Desired Speed*)

Kecepatan kendaraan yang diinginkan dapat ditentukan berdasarkan asumsi pergerakan kendaraan pada kondisi lalu lintas yang ideal yang mana kendaraan tidak terhambat oleh kemacetan, batas kecepatan, ataupun kendaraan lain.

5. Mengatur Pengurangan Kecepatan (*Reduced Speed*)

Pengurangan kecepatan (*reduced speed*) merupakan salah satu parameter kalibrasi yang mengasumsikan menyerupai kenyataan pengemudi dalam berkendara di jalan. Saat memasuki area tertentu pengemudi akan memperlambat kendaraannya. Hal ini untuk mensimulasikan kondisi seperti kecelakaan, zona konstruksi, atau area dengan pembatasan kecepatan khusus.

6. Menentukan Rute Perjalanan (*Vehicle Routes*)

Penentuan rute perjalanan berfungsi untuk mengatur arah pergerakan kendaraan yang akan melintas. Rute ini membantu dalam menirukan perilaku kendaraan dan interaksi antar kendaraan pada jaringan jalan.

7. Menginput Komposisi Kendaraan (*Vehicle Composition*)

Komposisi kendaraan diinput berdasarkan jenis kendaraan yang telah ditentukan sebelumnya. Jumlah kendaraan yang ada dari masing-masing jenis kendaraan tersebut diinput pada kolom *reflow*. Pada komposisi kendaraan ini dapat juga diinput jumlah pejalan kaki yang melewati *zebra cross*. *Reflow* dapat ditentukan dengan rumus berikut:

$$reflow = \frac{\sum \text{Jenis Kendaraan}}{\sum \text{Arus Lalu Lintas}} \quad (2.12)$$

8. Menentukan Jumlah Kendaraan (*Vehicle Input*)

Pada tahap ini, memasukan data volume kendaraan yang diperoleh dari hasil survei. Data kendaraan diinput berdasarkan masing-masing lengan simpang.

9. Membuat dan Menentukan *Conflict Areas* dan *Priority Rules*

Titik konflik (*conflict areas*) digunakan untuk mengontrol kendaraan agar tidak saling bertabrakan satu sama lain dan memprioritaskan kendaraan agar jalan terlebih dahulu sesuai keinginan kita. Aturan prioritas (*priority rules*)

digunakan saat melakukan pengaturan titik dimana kendaraan kendaraan mulai menunggu sehingga kendaraan tersebut dapat lolos pada saat kendaraan dari arus lain kosong atau sudah melewati daerah yang telah didesain.

10. Mengatur Sinyal Lalu Lintas

Pengaturan sinyal lalu lintas bertujuan untuk mengatur kendaraan yang melalui suatu persimpangan. Sinyal lalu lintas dapat diatur dengan mengklik *signal control*, kemudian klik *signal controllers*.

11. Mengatur Perilaku Berkendara (*Driving Behaviors*)

Driving behaviors mengacu pada cara kendaraan berperilaku dengan elemen-elemen lalu lintas lainnya seperti kendaraan lain, sinyal lalu lintas, atau batasan kecepatan. PTV Vissim memungkinkan untuk mengatur berbagai aspek perilaku berkendara yang mempengaruhi kelancaran lalu lintas. Terdapat komponen utama pada *driving behaviors*, diantaranya sebagai berikut:

a. Model Mengikuti Kendaraan Depan (*Car Following Models*)

Car following models PTV Vissim menggunakan *Wiedemann Models* yang digunakan untuk menentukan bagaimana kendaraan mengikuti kendaraan di depannya, baik di jalan bebas hambatan (kecepatan tinggi) maupun di jalan kota (kecepatan rendah). Wiedemann 74 digunakan untuk kecepatan rendah, sedangkan Wiedemann 99 untuk kecepatan tinggi. Model ini mengatur jarak antar kendaraan, kecepatan, dan persepsi risiko pengemudi.

b. Perilaku Ganti Jalur (*Lane Changing Behaviors*)

Fitur ini mengatur seberapa sering pengemudi mengganti jalur, pengemudi bereaksi terhadap antrian dan faktor lain seperti kemacetan dan aksesibilitas.

c. Agresivitas (*Aggressiveness*)

Tingkat agresivitas pengemudi disesuaikan untuk menentukan seberapa sering pengemudi mengganti jalur, seberapa dekat pengemudi mengikuti kendaraan di depannya, dan seberapa cepat akselerasi atau deselerasi.

d. Perilaku Lateral (*Lateral Behaviors*)

Fitur ini mengatur bagaimana kendaraan menggunakan seluruh lebar jalur atau secara lateral. Pengemudi mungkin tidak selalu berjalan tepat di tengah jalur, terutama pada situasi lalu lintas padat, pergerakan kendaraan besar, atau saat ada gangguan seperti kendaraan berhenti di pinggir jalan.

e. *Stop and Go Behaviors*)

Fitur ini mengatur perilaku kendaraan dalam kondisi kemacetan, ketika kendaraan sering berhenti dan bergerak secara perlahan.

12. Membuat dan Mengatur *Queue Counters*, *Data Collection Points*, dan *Vehicle Travel Times*

Queue counters pada PTV Vissim digunakan untuk menghitung panjang antrian kendaraan pada titik tertentu di jaringan jalan, seperti di lampu lalu lintas, persimpangan, atau pintu tol. *Data Collection Points* (DCP) digunakan untuk membaca hasil volume kendaraan yang melewati *link* atau jalan perlajur pada titik yang ditentukan. Hasil dari *data collection points* dapat digunakan untuk validasi hasil *running* pada PTV Vissim. *Vehicle travel times* berfungsi untuk menghitung kecepatan perjalanan kendaraan dengan jarak yang telah ditentukan dan bisa juga untuk menghitung tundaan (*delay*) kendaraan. *Measurement Definition* berfungsi untuk pengelompokan *data collection measurement* dan *delay measurement* sehingga *data collection points* dan *vehicle travel times* yang sudah diatur dapat keluar pada hasil simulasi atau *running*.

13. Membuat dan Mengatur *3D Models*

3D Models berfungsi untuk memperindah tampilan simulasi PTV Vissim. Kita dapat menambahkan beberapa objek.

14. Menjalankan Simulasi

Setelah semua jaringan dan parameter lalu lintas dibuat, maka Langkah selanjutnya yaitu menjalankan simulasi. PTV Vissim mendukung tampilan simulasi dalam bentuk 3D.

15. Kalibrasi dan Validasi

Kalibrasi model dengan menyesuaikan parameter simulasi agar lebih realistis berdasarkan data aktual seperti kecepatan, volume, dan kepadatan. Kemudian dilakukan validasi dengan membandingkan hasil simulasi dengan data di lapangan untuk memastikan tingkat akurasi model yang telah dibuat.

16. Hasil Analisis

Tinjau hasil simulasi dengan menganalisis indikator seperti panjang antrian dan tundaan lalu lintas.