

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

1.1 Jalan

Jalan merupakan salah satu infrastruktur penting dalam kehidupan manusia. Sejak zaman dahulu kala, manusia telah menggunakan jalan sebagai sarana untuk berpindah dari satu tempat ke tempat lain. Pengertian jalan secara umum adalah suatu jalur atau rute yang digunakan oleh kendaraan bermotor, pejalan kaki, atau bahkan hewan untuk bergerak dari satu tempat ke tempat lain. Jalan juga dapat berfungsi sebagai penghubung antara berbagai wilayah, mempermudah transportasi, dan mendukung perkembangan ekonomi suatu daerah (Zahra et al., 2024).

Menurut UU No. 38 Tahun 2004 tentang jalan, definisi jalan adalah prasarana transportasi darat yang meliputi segala bagian jalan, termasuk bangunan pelengkap dan perlengkapannya yang diperuntukkan bagi lalu lintas, yang berada pada permukaan tanah, di atas permukaan tanah, di bawah permukaan tanah dan/atau air, serta di atas permukaan air, kecuali jalan kereta api, jalan lori, dan jalan kabel. Jalan umum adalah jalan yang diperuntukkan bagi lalu lintas umum, jalan khusus adalah jalan yang dibangun oleh instansi, badan usaha, perseorangan, atau kelompok masyarakat untuk kepentingan sendiri.

2.2 Persimpangan

. Persimpangan adalah suatu area atau titik di mana dua atau lebih jalan bertemu, bersilangan, atau bercabang. Persimpangan merupakan bagian penting dari jaringan jalan raya dimana merupakan titik konflik dan tempat kemacetan karena bertemunya dua ruas jalan atau lebih sehingga mempengaruhi efisiensi, keamanan, kecepatan, biaya operasional, dan kapasitas lalu lintas. Fungsi utamanya adalah untuk memungkinkan perubahan arah atau perpindahan kendaraan dalam sistem transportasi

Persimpangan merupakan bagian penting dari jalan perkotaan, sebab sebagian besar dari efisiensi, biaya operasional dan kapasitas lalu lintas pada perencanaan lalu lintas menerus dan lalu lintas yang saling memotong pada satu atau lebih lengan persimpangan (*approach*) dan mencakup juga pergerakan perputaran. Pergerakan lalu

lintas ini dikendalikan dengan berbagai cara tergantung pada jalan persimpangannya. Tujuan utama dari perencanaan persimpangan adalah mengurangi kemungkinan terjadinya tubrukan antara kendaraan bermotor, pejalan kaki, kenyamanan dan ketenangan terhadap pemakai jalan yang memakai persimpangan (Aprianto et al., 2025).

Menurut Direktorat Jenderal Perhubungan Darat (1996), Persimpangan adalah titik pertemuan atau percabangan jalan, baik yang sebidang maupun tidak sebidang, yang dirancang dengan mempertimbangkan efisiensi, keselamatan, dan kapasitas lalu lintas. Menurut Prasetyanto (2013) Persimpangan adalah daerah di mana dua atau lebih ruas jalan bertemu atau bersilangan, dengan tingkat kelancaran lalu lintas dipengaruhi oleh kondisi persimpangan tersebut. Menurut Hobbs (1995) Persimpangan adalah simpul transportasi yang terbentuk dari beberapa pendekat, di mana arus kendaraan bertemu dan memencar meninggalkan persimpangan.

2.3 Jenis-jenis persimpangan

Persimpangan di bangun sebagai media jalan bagi kendaraan maupun pejalan kaki, dengan tujuan untuk mengurangi potensi konflik antara kendaraan (termasuk pejalan kaki), sekaligus menyediakan kenyamanan dan memudahkan kendaran untuk bergerak. Menurut Morlok (1991) persimpangan di kelompokkan menjadi dua jenis yaitu persimpangan sebidang dan persimpangan tak sebidang.

1. Persimpangan Sebidang (at Grade Intersection), yaitu dua jalan atau lebih yang mengarahkan kendaraan masuk ke persimpangan menjadi satu kesatuan arus lalu lintas yang saling berlawanan.
 - a. Simpang bersinyal, yaitu simpang yang diatur oleh lampu lalu lintas sehingga pergerakan arus lalu lintas dari setiap pendekat hanya bisa melewati ketika isyarat lampu hijau menyala.
 - b. Simpang tak bersinyal, yaitu simpang yang tidak diatur oleh lampu lalu lintas sehingga pergerakan arus lalu lintas bergerak dengan memprioritaskan kendaraan yang telah mencapai perpotongan simpang tersebut.

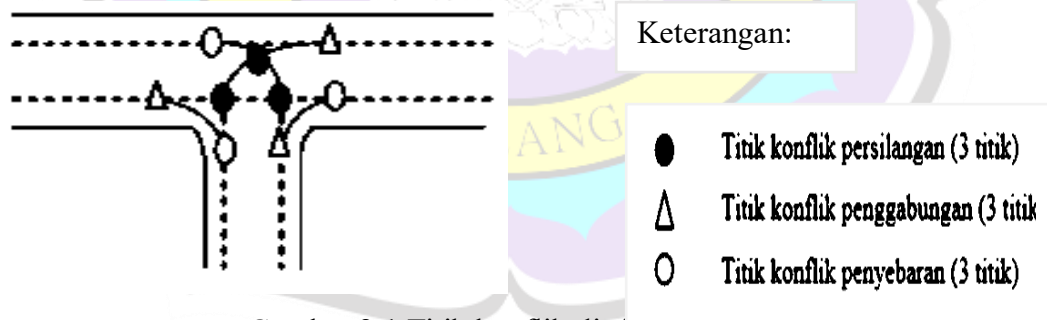
2. Persimpangan tak sebidang, yaitu memisahkan lalu lintas bergerak menuju keluar persimpangan sehingga kendaraan tidak berpapasan satu sama lain, seperti jalan layang.

2.4 Kinerja simpang bersinyal

Simpang bersinyal adalah persimpangan dengan beberapa lengan dan alat pemberi isyarat lalu lintas (APILL), seperti lampu lalu lintas. Tujuan dari penggunaan sinyal ini adalah untuk mengatur pergerakan kendaraan dan pejalan kaki di persimpangan, yang menghasilkan alur lalu lintas yang lebih teratur dan aman. Berdasarkan Pedoman Kapasitas Jalan Indonesia (PKJI) 2014, tujuan penggunaan simpang bersinyal meliputi:

1. Menghindari kemacetan di simpang yang disebabkan oleh konflik arus lalu lintas dengan menjaga kapasitas yang tertentu selama kondisi lalu lintas puncak,
2. Memberikan kesempatan kepada kendaraan lain dan atau pejalan kaki untuk memotong jalan utama,
3. Mengurangi kecelakaan lalu lintas yang disebabkan oleh pertemuan kendaraan yang berlawanan arah atau konflik arus lalu lintas.

Konflik-konflik yang terjadi pada simpang bersinyal dapat dilihat seperti pada gambar 2.1 berikut:



Gambar 2.1 Titik konflik di simpang tiga

Sumber: (Manual kapasitas jalan MKJI 1997)

2.4.1 Geometri simpang

Geometri simpang adalah istilah yang mengacu pada desain fisik simpang yang terdiri dari fitur seperti panjang, lebar, dan sudut belokan, serta faktor lainnya yang mempengaruhi pergerakan kendaraan dan pejalan kaki. Desain geometri yang

baik sangat penting untuk memaksimalkan kinerja simpang dan meminimalkan risiko kecelakaan. Elemen-elemen yang harus di perhatikan dalam persimpangan yaitu: lebar jalur, panjang jalur belok, titik persimpangan, dan rambu lalu lintas serta marka jalan.

1. Lebar jalur yang cukup dapat meningkatkan kapasitas simpang dan mengurangi antrian. Menurut PKJI 2014, lebar jalur minimal harus disesuaikan dengan jenis kendaraan yang melintas.
2. Panjang jalur belok harus cukup untuk membiarkan kendaraan berbelok tanpa mengganggu arus lalu lintas lainnya.
3. Lokasi di mana dua atau lebih jalan bertemu harus dirancang sehingga arus lalu lintas tidak bertentangan satu sama lain.
4. Rambu lalu lintas dan marka jalan harus dibuat dengan cara yang jelas untuk memberi tahu pengemudi tentang pergerakan yang diizinkan di simpang.

2.4.2 Arus lalu lintas

Perhitungan dilakukan per satuan jam untuk satu atau lebih periode, misalnya di dasarkan pada kondisi arus lalu lintas rencana jam puncak pagi, siang dan sore. Arus lalu lintas (Q) untuk setiap gerakan (belok kiri Q_{LT} , lurus Q_{ST} dan belok kanan Q_{RT}) di konversi dari kendaraan per jam menjadi satuan mobil penumpang (smp) per-jam dengan menggunakan ekivalen kendaraan penumpang (emp) untuk masing-masing pendekatan terlindung dan terlawan dapat dilihat pada tabel berikut

Tabel 2.1 Nilai EMP untuk Jenis Kendaraan Berdasarkan Pendekat

Jenis kendaraan	Emp untuk tipe pendekat	
	terlindung	terlawan
Kendaraan ringan (LV)	1	1
Kendaraan berat (HV)	1,3	1,3
Sepeda motor (MC)	0,2	0,4

Sumber: (Manual kapasitas jalan MKJI 1997)

1. Volume arus lalu lintas

Data ini mencakup jumlah kendaraan yang melewati simpang dalam satuan waktu tertentu, biasanya diukur dalam satuan kendaraan per jam (Kend/Jam) atau kendaraan setara penumpang (smp/jam). Pengukuran dilakukan pada jam sibuk

(peak hour) dan jam normal (*off-peak hour*). Sebagai contoh, volume lalu lintas dapat diambil selama dua jam pada pagi, siang, dan sore hari untuk mendapatkan data representatif (Suartawan & Vicente, 2022).

Volume lalu lintas adalah jumlah kendaraan yang melewati suatu titik tertentu pada ruas jalan dalam satuan waktu tertentu, biasanya dinyatakan dalam kendaraan per jam atau kendaraan per hari. Ada banyak cara untuk mengukur volume lalu lintas, seperti melihat langsung di lapangan atau menggunakan pengukur otomatis. Untuk mendapatkan informasi yang akurat tentang arus kendaraan, pengukuran ini sering dilakukan dalam interval tertentu, seperti harian atau bulanan. Dua ukuran umum yang digunakan adalah volume lalu lintas harian tahunan (AADT) dan volume lalu lintas harian rata-rata (LHR) (Rosyad & Putra, 2020). Volume kendaraan dapat di hitung menggunakan rumus sebagai berikut:

$$Q = \frac{N}{T} \dots\dots\dots (xxii)$$

Keterangan:

Q = Volume (kend/jam)

N = Jumlah Kendaraan (kend)

T = Waktu Pengamatan (Jam)

2. Komposisi kendaraan

Mengidentifikasi jenis mobil yang melintasi, seperti mobil penumpang, truk, sepeda motor, dan kendaraan berat lainnya. Menghitung arus setara penumpang (smp) membutuhkan komponen ini.

3. Data waktu sinyal

Data waktu sinyal adalah waktu antara dua fase sinyal yang berurutan. Waktu ini terdiri dari waktu kuning dan merah yang diberikan kepada semua pendekat sebelum fase berikutnya dimulai. Tujuan dari waktu antar hijau adalah untuk memberi kendaraan terakhir yang melewati garis henti pada akhir sinyal kuning untuk bergerak sebelum kendaraan dari fase berikutnya mulai (UA et al., 2020).

Tabel 2.2 Nilai Normal Waktu Antar Hijau

Ukuran simpang	Lebar jalan rata-rata	Nilai normal antar
----------------	-----------------------	--------------------

		waktu
Kecil	6 – 9 m	4 dt/fase
Sedang	10 – 14 m	5 dt/fase
Besar	≥ 15 m	≥ 6 dt/fase

Sumber: (Manual kapasitas jalan MKJI 1997)

Total waktu yang hilang dalam satu siklus karena adanya waktu hijau antar fase disebut waktu hilang. Ini dapat dihitung dengan membagi jumlah waktu siklus total dengan jumlah waktu hijau dalam masing-masing fase. Waktu hilang dapat mengganggu lalu lintas, terutama di jam sibuk. Waktu hilang dapat di hitung dengan rumus sebagai berikut:

$$HH = C - \sum H \dots\dots\dots(i)$$

Keterangan

C = Waktu siklus total (detik)

$\sum H$ = Jumlah waktu hijau untuk semua fase dalam siklus (detik).

2.4.3 Arus jenuh dasar

Arus jenuh dasar (S_0) adalah besarnya aliran maksimum kendaraan yang dapat melewati garis henti pada pendekat simpang bersinyal selama lampu hijau dalam kondisi ideal, tanpa faktor penghambat samping atau gangguan lain. Nilai S_0 sering dinyatakan dalam satuan kendaraan per jam per meter lebar jalur (smp/jam/m) (Sucitra & Erdiansyah, 2020).

Menurut MKJI (1997), arus jenuh dasar merupakan besarnya keberangkatan antrian di dalam pendekat selama kondisi ideal (smp/jam hijau). tipe pendekat dibedakan menjadi 2 (dua) tipe yaitu sebagai berikut ini:

1. Tipe berlawanan ($O = opposed$), apabila pada arus berangkat terjadi konflik dengan lalu lintas dari arah berlawanan.
2. Tipe terlindung ($P = protected$), apabila pada arus berangkat tidak terjadi konflik dengan lalu lintas dan arah yang berlawanan. Pada arus berangkat terlindung atau tipe pendekat P, arus jenuh dasar dirumuskan sebagai berikut:

$$S_0 = 600 \times W_e \dots\dots\dots (v)$$

Keterangan:

S_0 : Arus jenuh dasar

We : Lebar efektif pendekat

1. Faktor Penyesuaian

Faktor penyesuaian untuk nilai arus jenuh dasar untuk kedua jenis pendekat terlindung (P) dan pendekat berlawanan (0) adalah sebagai berikut (MKJI 1997):

a. Faktor penyesuaian ukuran kota (Fcs)

Besarnya jumlah penduduk suatu kota akan mempengaruhi karakteristik perilaku pengguna jalan dan jumlah kendaraan yang ada. Faktor penyesuaian ukuran kota (Fcs) ditentukan sesuai tabel 2 sebagai berikut:

Tabel 2.3 Faktor Koreksi Ukuran Kota (Fcs)

Ukuran Kota (Cs)	Penduduk Kota (juta jiwa)	Faktor penyesuaian ukuran kota (FCS)
Sangat kecil	<0,1	0,82
Kecil	1,0 – 0,5	0,83
Sedang	0,5 – 1,0	0,94
Besar	1,0 – 3,0	1
Sangat besar	>3,0	1,05

Sumber: (Manual kapasitas jalan MKJI 1997) ((MKJI), 1997)

b. Faktor Penyesuaian Hambatan Samping (FSF)

Faktor penyesuaian hambatan samping ditentukan dengan tabel berikut:

Tabel 2.4 Faktor Koreksi Hambatan Samping (FSF)

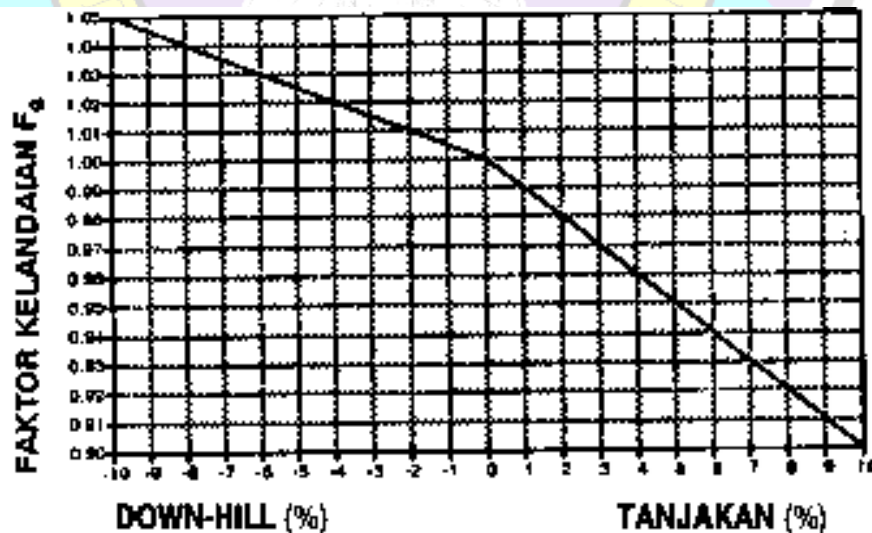
Lingkungan Jalan	hambatan samping	tipe fase	Rasio kendaraan tak bermotor					
			0	0,1	0,2	0,5	≥0,2	
Lingkungan Jalan	Tinggi	Terlawan	0,9	0,8	0,8	0,7	0,7	
		Terlindung	0,9	0,9	0,8	0,8	0,8	
	Sedang	g	3	1	8	7	5	0,81
		g	0,9	0,8	0,8		0,7	
Komersial (COM)	Tinggi	Terlawan	4	9	5	0,8	5	0,71
		Terlindung	0,9	0,9	0,8	0,8	0,8	
	Sedang	g	4	2	9	8	6	0,82
		g	0,9		0,8	0,8	0,7	
Rendah	Terlawan	g	5	0,9	6	1	6	0,72
		g						

		Terlindung	0,9	0,9		0,8	0,8	
		g	5	3	0,9	9	7	0,83
		Terlawan	0,9	0,9	0,8	0,8	0,7	
		g	6	1	6	1	8	0,72
	Tinggi	Terlindung	0,9	0,9	0,9	0,9	0,8	
		g	6	4	1	9	6	0,84
		Terlawan	0,9	0,9	0,8	0,8	0,7	
		g	7	2	7	2	9	0,73
	Sedang	Terlindung	0,9	0,8	0,9		0,8	
		g	7	8	2	0,9	7	0,85
		Terlawan	0,9	0,9	0,8	0,8		
		g	8	3	8	3	0,8	0,74
	Rendah	Terlindung	0,9		0,9	0,9	0,8	
		g	8	0,9	3	1	8	0,86
		Terlawan		0,9		0,8		
		g	1	5	0,9	5	0,8	0,75
Akses terbatas (RA)		Terlindung		0,9	0,9	0,9		
		g	1	8	5	3	0,9	0,88

Sumber: (Manual kapasitas jalan MKJI 1997)

c. Faktor Penyesuaian Kelandaian (FG)

Faktor penyesuaian kelandaian (FG) didapat dari grafik. Untuk kelandaian 0% faktor penyesuaian kelandaian (FG) adalah Factor penyesuaian kelandaian dapat dilihat pada Gambar 2.2



Gambar 2.2 Faktor penyesuaian untuk kelandaian (FG)

Sumber: (Manual kapasitas jalan MKJI 1997)

d. Faktor Penyesuaian Parkir (FP)

Faktor penyesuaian parkir diperoleh dari grafik sebagai fungsi jarak dari garis henti sampai kendaraan yang diparkir pertama dan lebar pendekat.

Faktor penyesuaian parkir (FP) dapat dihitung dengan rumus:

$$F_p = [(L_p/3 - (W_A - 2) \times (L_p/3 - g) / W_A] / g \dots\dots\dots (vi)$$

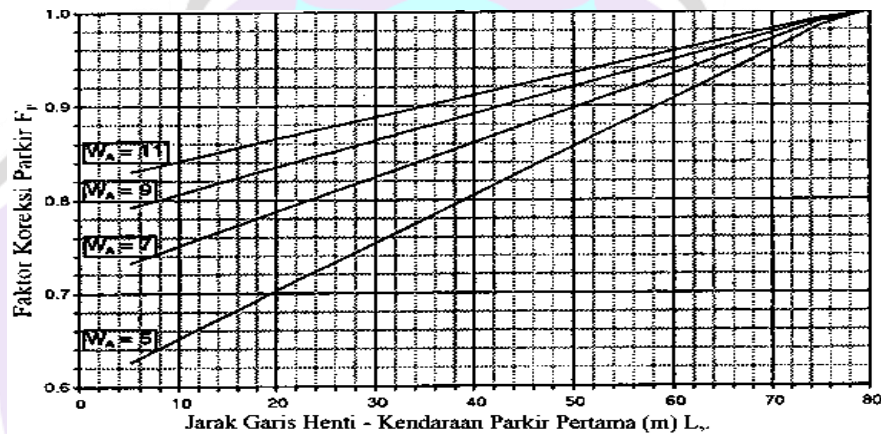
Dimana:

FP = faktor penyesuaian parkir,

Lp = jarak antara garis henti dan kendaraan yang diparkir pertama (m)

WA= lebar pendekat (m)

g = waktu hijau pada pendekat



Gambar 2.3 Faktor Koreksi Parkir (Fp)

Sumber: (Manual kapasitas jalan MKJI 1997)

e. Faktor Penyesuaian Belok Kanan

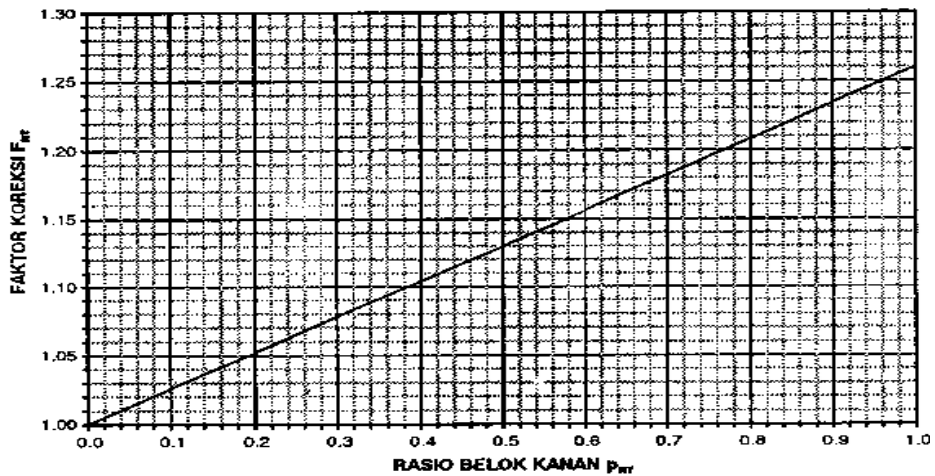
Faktor penyesuaian belok kanan (FRT) hanya berlaku untuk pendekat tipe P, jalan dua arah, lebar efektif ditentukan oleh lebar masuk. Faktor penyesuaian belok kanan juga bisa didapat dengan menggunakan rumus:

$$FRT = 1,0 \times PRT \times 0,26 \dots\dots\dots (vii)$$

Keterangan:

FRT = faktor penyesuaian belok kanan,

PRT = rasio belok kanan.



Gambar 2.4 Faktor Koreksi Belok Kanan (FRT)

Sumber: (Manual kapasitas jalan MKJI 1997)

f. Faktor Penyesuaian Belok Kiri

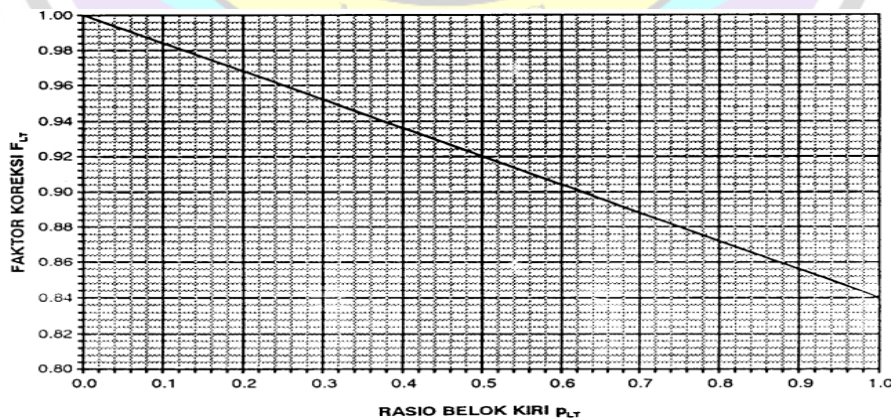
Faktor penyesuaian belok kiri hanya berlaku untuk pendekat tipe P tanpa belok kiri langsung, lebar efektif ditentukan oleh lebar masuk. Faktor penyesuaian belok kiri dapat diperoleh dengan menggunakan rumus:

$$FLT = 1,0 - PLT \times 0,16 \dots\dots\dots(viii)$$

Keterangan:

FLT = faktor penyesuaian belok kiri,

PLT = rasio belok kiri.



Gambar 2.5 Faktor Koreksi Belok Kiri (FLT)

Sumber: (Manual kapasitas jalan MKJI 1997)

2.4.4 Kapasitas

Kapasitas pendekat simpang bersinyal adalah jumlah arus kendaraan yang dapat melewati persimpangan jalan (*intersektioi*). Nilai ini dapat digambarkan dengan rumus di bawah ini:

$$C = \frac{S \times g}{c} \dots\dots\dots (xiii)$$

Keterangan:

C = Kapasitas (smp/jam)

S = Arus jenuh (smp/jam) g = Waktu hijau (detik)

c = Waktu siklus (detik)

Derajat Kejenuhan (DS) merupakan rasio arus lalu lintas (Q) terhadap kapasitas (C) yang biasanya dihitung per jam. Derajat kejenuhan dapat dihitung menggunakan persamaan berikut ini:

$$DS = \frac{Q}{C} = \frac{Q \times c}{S \times g} \dots\dots\dots (xiv)$$

Keterangan :

Q = Arus lalu lintas (smp/jam)

C = Kapasitas (smp/jam hijau)

S = Arus jenuh (smp/waktu hijau efektif)

g = Waktu hijau (detik)

c = Panjang siklus (detik)

2.4.5 Tundaan

Tundaan adalah total waktu hambatan rata-rata yang dialami oleh kendaraan saat melewati simpang. Hambatan ini muncul jika kendaraan berhenti karena antrian di persimpangan sampai kendaraan itu keluar dari persimpangan karena kapasitas yang tidak memadai. Sebuah simpang dapat memiliki tundaan geometrik atau lalu lintas (Meryana et al., 2022)

1. Tundaan lalu lintas

Tundaan lalu-lintas rata-rata setiap pendekat (DT) akibat pengaruh timbal balik dengan gerakan-gerakan lainnya pada simpang dapat dihitung menggunakan rumus sebagai berikut:

$$DT = c \times A + \frac{NQ_1 \times 3600}{C} \dots\dots\dots (xx)$$

Keterangan:

DT = Tundaan lalu lintas rata-rata (det/smp)

C = Waktu siklus yang di sesuaikan (det)

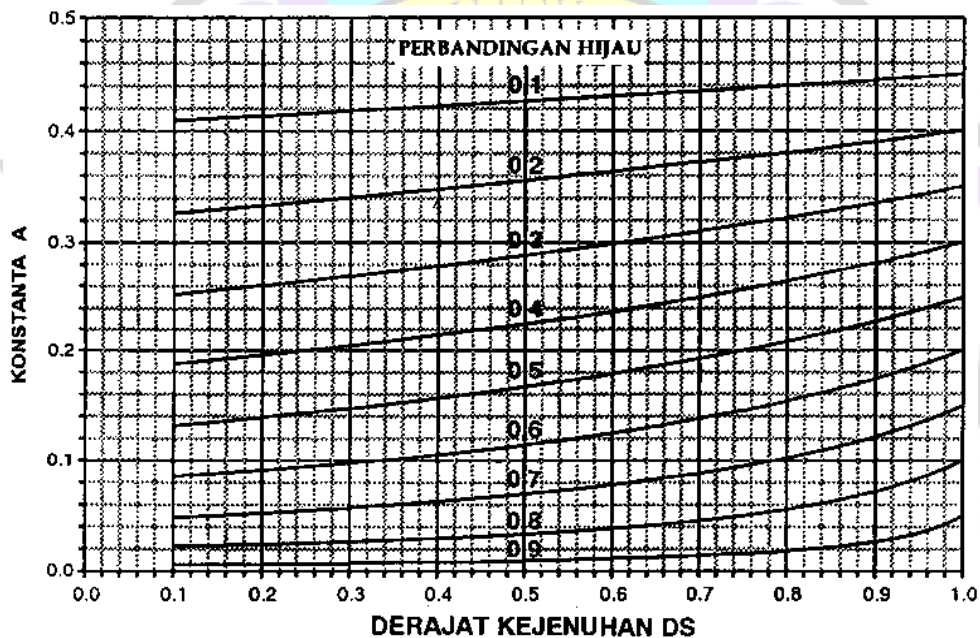
$$A = \frac{0,5 \times (1-GR)^2}{(1-GR \times DS)}$$

GR= Rasio hijau (g/c)

DS= Derajat kejenuhan

NQ₁= Jumlah smp yang tersisa

C = Kapasitas (smp/jam)



Gambar 2.6 Penetapan tundaan lalu-lintas rata-rata (DT)

Sumber: (Manual kapasitas jalan MKJI 1997)

2. Tundaan geometri

Tundaan geometri rata-rata masing-masing pendekat (DG) akibat perlambatan dan percepatan ketika menunggu giliran pada suatu simpang dan/atau ketika dihentikan oleh lampu merah dapat di hitung menggunakan rumus di bawah ini:

$$DG_j = (1 - P_{sv}) \times P_T \times 6 + (P_{sv} \times 4) \dots\dots\dots (xxi)$$

Keterangan:

DG_j = Tundaan geometri rata-rata untuk pendekat j (det/smp)

P_{sv} = Rasio kendaraan henti

PT = Rasio kendaraan belok

3. Angka henti

Angka henti (NS) adalah jumlah berhenti rata-rata per kendaraan (termasuk berhenti terulang dalam antrian) sebelum melewati simpang. Angka henti dapat dihitung dengan menggunakan rumus sebagai berikut:

$$NS = 0,9 \times \frac{NQ}{Q \times c} \times 3600 \dots\dots\dots (xix)$$

dimana:

c = Waktu siklus (det)

Q = Arus lalu-lintas (smp/jam)

NS = Angka henti,

NQ = Jumlah antrian total

2.4.6 Panjang Antrian

Menurut Manual Kapasitas Jalan Indonesia tahun 1997, "antrian" didefinisikan sebagai jumlah kendaraan yang antri di dekat simpang dan dinyatakan dalam kendaraan atau satuan mobil penumpang. Sementara "panjang antrian" didefinisikan sebagai panjang antrian kendaraan di dekat simpang dan dinyatakan dalam satuan meter. Jika kendaraan dihentikan oleh komponen lain dari sistem lalu lintas atau gerakan di depannya mengontrol gerakan kendaraan yang berada dalam antrian.

Hasil dari perhitungan derajat kejenuhan yang tersisa dari fase hijau sebelumnya digunakan untuk menghitung jumlah antrian yang tersisa dari fase hijau sebelumnya (Famara et al., 2023).

Untuk $DS > 0,5$:

$$NQ_1 = 0,25 \times C \times \left\{ (DS - 1) + \sqrt{(DS - 1)^2 + \frac{8 \times (DS - 0,5)}{C}} \right\} \dots\dots\dots (xv).$$

Untuk $DS < 0,5$: $NQ_1 = 0$

dimana

NQ_1 = jumlah smp yang tersisa dari fase hijau sebelumnya

DS = derajat kejenuhan

GR = rasio hijau C kapasitas (smp/jam)

C = kapasitas (smp/jam)

Perhitung jumlah antrian smp yang datang selama fase merah (NQ_2), dapat menggunakan rumus di bawah ini:

$$NQ_2 = C \times \frac{1-GR}{1-GR \times DS} \times \frac{Q}{3600} \dots\dots\dots (xvi)$$

Keterangan:

NQ_2 = Jumlah smp yang datang selama fase merah,

DS = Derajat kejenuhan,

GR = Rasio hijau,

c = Waktu siklus (detik),

Q = Arus lalu-lintas pada tempat masuk diluar LTOR (smp/jam).

Jumlah rata-rata antrian smp pada awal sinyal hijau (NQ) dihitung sebagai jumlah smp yang tersisa dari fase hijau sebelumnya (NQ_1) ditambah jumlah smp yang datang selama fase merah (NQ_2).

$$NQ = NQ_1 + NQ_2 \dots\dots\dots (xvii)$$

Keterangan:

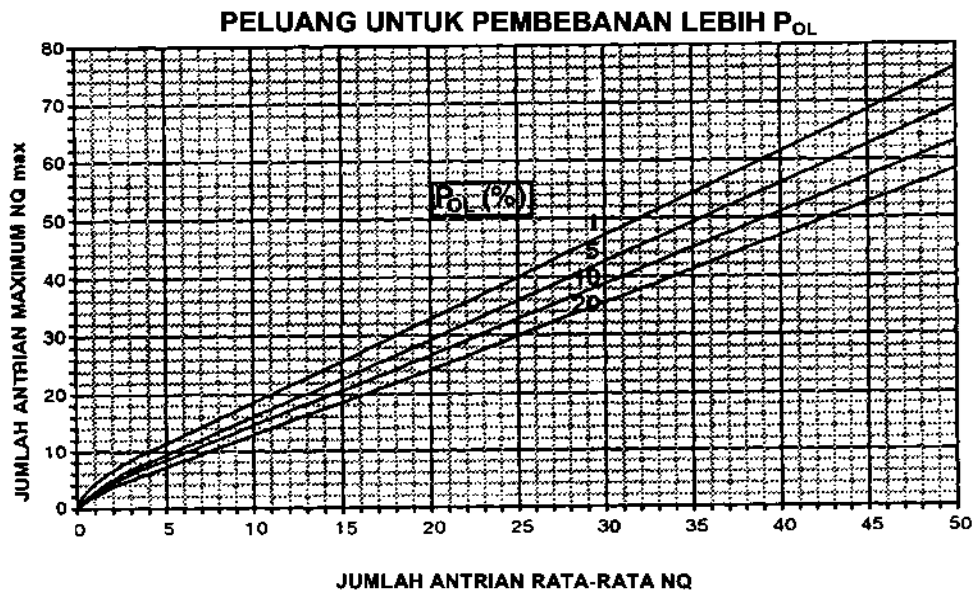
NQ = Jumlah antrian total

NQ_1 = Jumlah smp yang tersisa dari fase hijau sebelumnya

NQ_2 = Jumlah smp yang datang selama fase merah.

Panjang antrian (QL) diperoleh dari perkalian (NQ) dengan luas rata-rata yang dipergunakan per smp (20 m^2) dan pembagian dengan lebar masuk.

$$QL = NQ_{\max} \times \frac{20}{W_{\text{masuk}}} \dots\dots\dots (xviii)$$



Gambar 2.7 Perhitungan jumlah antrian (NQMAX) dalam smp

Sumber: (Manual kapasitas jalan MKJI 1997)

2.5 PVT Vissim

Vissim adalah perangkat lunak yang dikembangkan oleh PTV Planung Transportasi Verkehr AG di Karlsruhe, Jerman, yang digunakan untuk simulasi arus lalu lintas secara mikroskopis. Pertama kali dibuat di Jerman pada tahun 1992, Vissim sekarang menjadi perangkat lunak transportasi yang paling populer yang digunakan oleh publik, perusahaan, dan universitas di seluruh dunia. Vissim adalah alat mikro-simulasi lalu lintas yang digunakan untuk perencanaan dan pemodelan lalu lintas baik di perkotaan maupun di pedesaan. Ini dapat menganalisis arus kendaraan atau pejalan kaki dan secara bersamaan mensimulasikan berbagai moda lalu lintas (Pratiwi & Rusmandani, 2024).

Vissim adalah software simulasi yang digunakan oleh profesional untuk membuat simulasi skenario lalu lintas yang dinamis sebelum membuat perencanaan dalam bentuk nyata. Vissim mampu mensimulasikan berbagai aliran lalu lintas, seperti mobil, angkutan barang, bus, kereta berat, tram, LRT, sepeda motor, sepeda, dan tentu saja pejalan kaki, dengan tampilan visual 3D. Software ini memungkinkan pengguna memodelkan segala jenis perilaku pengguna jalan yang terjadi dalam sistem transportasi. Vissim juga dikenal sebagai simulasi mikroskopik atau

mikrosimulasi, yang berarti bahwa setiap fitur kendaraan dan pejalan akan disimulasikan secara terpisah dalam kondisi operasional yang berbeda yang ada di sistem transportasi (Azka et al., 2024).

Menurut PTV Group (2015), Vissim dapat digunakan untuk beberapa kasus antara lain :

1. Membuat perbandingan geometrik persimpangan
2. Perencanaan pengembangan lalu lintas
3. Analisis kapasitas
4. Sistem control lalu lintas
5. Operasi sistem sinyal lalu lintas dan studi pengaturan ulang
6. Simulasi transportasi public

Tingkat pelayanan (*level of service*) adalah ukuran kinerja ruas jalan atau simpang jalan yang dihitung berdasarkan tingkat penggunaan jalan, kecepatan, kepadatan dan hambatan yang terjadi. Pada pengolahan data yang digunakan oleh Vissim, metode yang digunakan mengacu pada peraturan di Amerika yang dimuat dalam manual kapasitas jalan raya (*Highway Capacity Manual*) tahun 2010. *Level of Service* (LOS) digunakan secara luas untuk memberi penilaian kinerja operasi jalan bebas hambatan. Metode HCM 2010 berdasarkan pada kepadatan kendaraan dari setiap segmen jalan. Metode kalkulasi tingkat pelayanan jalan bebas hambatan terdiri dari minimum 5 hingga maksimum 8 step termasuk beberapa persamaan analitis (Kananlua Mexwanto, 2020).

2.5.1 Parameter kalibrasi PVT Vissim

Untuk meningkatkan akurasi dan keandalan hasil analisis lalu lintas, kalibrasi PTV VISSIM melibatkan penyesuaian parameter model untuk memastikan bahwa simulasi mencerminkan kondisi nyata di lapangan. Parameter yang dikalibrasi biasanya terkait dengan perilaku pengemudi, yang dapat berbeda-beda tergantung pada situasi di tempat tersebut (Jepriadi, 2022). Beberapa parameter utama yang sering dikalibrasi dalam PTV VISSIM meliputi:

1. *Standstill Distance in Front of Obstacle*

Standstill distance in front of obstacle adalah jarak rata-rata yang diinginkan kendaraan saat berhenti di belakang hambatan statis, seperti lampu lalu lintas atau kendaraan lain yang berhenti; parameter ini termasuk dalam model *car-following* dan sangat memengaruhi perilaku antrian serta kapasitas jalan, di mana nilai default biasanya sekitar 2 meter, namun dapat dikalibrasi sesuai kebutuhan simulasi dan kondisi lalu lintas nyata.

2. *Observed Vehicle In Front*

Observed vehicle in front merujuk pada jumlah kendaraan di depan yang diperhatikan oleh pengemudi dalam mengambil keputusan, khususnya pada model *car-following*; semakin banyak kendaraan yang diamati, semakin responsif pengemudi terhadap perubahan lalu lintas di depannya, sehingga parameter ini penting untuk merepresentasikan reaksi pengemudi dan keamanan jarak antar kendaraan dalam simulasi.

3. *Minimum Headway*

Minimum headway adalah jarak minimum (dalam detik) atau jarak minimum (dalam meter) antara dua kendaraan yang bergerak secara berurutan. Pengaturan headway ini sangat penting dalam simulasi mikroskopik PTV Vissim untuk mengontrol kepadatan lalu lintas, tingkat keamanan, dan kapasitas jalan.

4. *Additive Factor Security*

Additive factor security merupakan komponen tambahan dalam perhitungan jarak aman (*safety distance*) antar kendaraan pada model *car-following*, berfungsi menambah jarak tetap secara absolut untuk meningkatkan keamanan, sehingga sangat penting dalam kalibrasi model agar perilaku pengemudi yang lebih konservatif atau agresif dapat direpresentasikan dengan baik.

5. *Multiplicative Factor Security*

Multiplicative factor security adalah faktor pengali dalam perhitungan jarak aman antar kendaraan, yang memperbesar atau memperkecil jarak aman sesuai karakteristik pengemudi; nilai yang lebih tinggi meningkatkan variasi jarak aman antar kendaraan dan membantu menyesuaikan model dengan perilaku lokal.

6. *Lane Change Rule*

Lane change rule adalah seperangkat aturan yang mengatur kapan, bagaimana, dan dalam kondisi apa kendaraan diperbolehkan atau diwajibkan berpindah jalur, terdiri atas *necessary lane change* (pindah jalur wajib) dan *free lane change* (pindah jalur bebas), serta sangat memengaruhi dinamika lalu lintas dan kelancaran arus kendaraan dalam simulasi.

7. *Overtake at Same Line*

Overtake at same line adalah perilaku menyalip kendaraan lain tanpa berpindah jalur, biasanya terjadi pada jalan satu lajur dua arah atau saat kendaraan di depan bergerak lambat; pengaturan ini memungkinkan simulasi perilaku menyalip yang realistis sesuai dengan kondisi dan aturan lalu lintas setempat.

8. *Desired Lateral Position*

Desired lateral position adalah posisi lateral (samping) yang diinginkan kendaraan di dalam satu lajur, seperti di tengah, agak ke kiri, atau ke kanan; parameter ini penting untuk merepresentasikan realisme pergerakan kendaraan, kenyamanan, serta menghindari tabrakan dalam simulasi.

9. *Lateral Minimum Distance*

Lateral minimum distance merupakan jarak minimum antar kendaraan secara lateral (samping) pada satu jalur atau saat berpindah jalur, yang bertujuan mencegah tabrakan samping dan memastikan ruang yang cukup dalam manuver lateral, sehingga sangat penting untuk keamanan dan kelancaran lalu lintas.

10. *Safety Distance Reduction*

Safety distance reduction adalah faktor pengurang jarak aman yang diterapkan sementara selama proses perpindahan jalur, misalnya dengan mengalikan *safety distance* normal dengan faktor tertentu (default 0.6), sehingga kendaraan dapat masuk ke celah sempit saat pindah jalur dan perilaku *agresif* atau *adaptif* dapat disimulasikan secara realistis

2.5.2 Kalibrasi dan Validasi Model Simulasi

Kalibrasi dan validasi PTV VISSIM adalah langkah penting untuk memastikan simulasi lalu lintas yang akurat. Selama proses kalibrasi, parameter

model disesuaikan untuk memastikan bahwa hasil simulasi sesuai dengan keadaan nyata di lapangan, dan validasi dilakukan untuk memastikan bahwa model simulasi telah diimplementasikan dengan benar. Untuk kalibrasi, metode *trial and error* digunakan untuk menentukan nilai yang paling sesuai dengan kondisi lapangan nyata. Metode ini mengubah nilai perilaku pengemudi secara bertahap sampai hasil simulasi sesuai dengan data lapangan yang diamati. Kalibrasi pada Vissim merupakan proses dalam membentuk nilai-nilai parameter yang sesuai sehingga model dapat mereplikasi lalu lintas hingga kondisi yang semirip mungkin. Proses kalibrasi dapat dilakukan berdasarkan perilaku pengemudi dengan mengacu pada penelitian-penelitian sebelumnya mengenai kalibrasi dan validasi menggunakan Vissim. Validasi pada Vissim merupakan proses pengujian kebenaran dari kalibrasi dengan membandingkan hasil observasi dan hasil simulasi. Proses kalibrasi dan validasi dilakukan berdasarkan jumlah volume arus lalu lintas dan panjang antrian (Ghanim et al., 2025).

Persamaan *Geoffrey E. Haver* dapat digunakan untuk kalibrasi model. Dengan menggabungkan perbedaan antara nilai relatif dan mutlak, rumus GEH adalah rumus statistik modifikasi *Chisquared*, antara lain:

$$\sqrt{\frac{(Q_{\text{Simulated}} - Q_{\text{Observed}})^2}{0,5 \times (Q_{\text{Simulated}} + Q_{\text{Observed}})}} \dots\dots\dots (xxiv)$$

Dimana :

Q = Data volume arus lalu lintas (kendaraan/jam)

Selain rumus statik GEH, rumus yang digunakan untuk perhitungan validasi adalah validasi dengan menggunakan MAPE. Rumus MAPE adalah sebagai berikut:

$$MAPE = \frac{1}{n} \sum_{t=1}^n \left| \frac{A_t - F_t}{A_t} \right| \times 100\% \dots\dots\dots (xxv)$$

Dimana:

N = Banyaknya / jumlah data

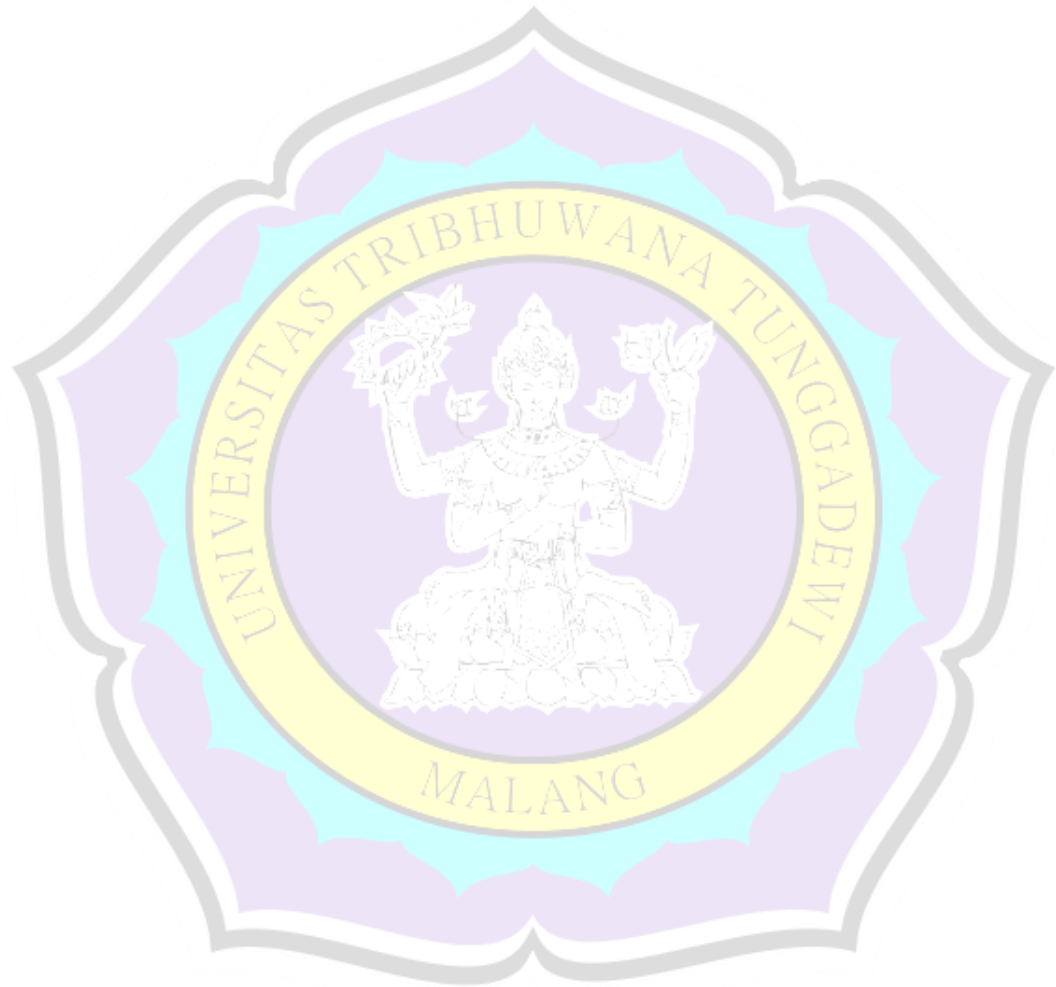
At = Data di lapangan

Ft = Data simulasi

Tabel 2.5 Kesimpulan dari Hasil Perhitungan Rumus Statistik GEH

$GEH < 5,0$	Di terima
$GEH \leq GEH \leq$	Peringatan: kemungkinan model error atau data buruk
$GEH > 10,00$	Di tolak

Sumber: (PVT group)



2.6 Penelitian Terdahulu

Penelitian sebelumnya yang berkaitan dengan judul penulis di ambil dalam penelitian ini. Penelitian terdahulu yang di gunakan termasuk antara lain:

Tabel 2.6 Penelitian terdahulu

No	Nama dan Judul penelitian	Tujuan Penelitian	Variabel yang di teliti	Metode Analisa	Hasil	Manfaat
1.	(Ardiansyah M., Suraji Aji, 2024) “Analisis kinerja lalu lintas pada pertigaan Jl. Ahmad Yani Utara dengan Jl. Raden intan di Kota Malang”	Menganalisis kinerja lalu lintas dan dapat melihat kondisi geometri di persimpangan tersebut.	Kondisi geometri jalan, kinerja lalu lintas, dan volume lalu lintas	Menggunakan metode kuantitatif dengan analisis kinerja lalu lintas.	Mengetahui kondisi geometri jalan, kapasitas jalan dan tingkat pelayanan, pada simpanga tersebut	Memberikan rekomendasi bagi peneliti selanjutnya terkait analisis kinerja lalu lintas, memberikan pemahaman tentang faktor-faktor yang mempengaruhi kinerja lalu lintas

No	Nama dan Judul penelitian	Tujuan Penelitian	Variabel yang diteliti	Metode Analisa	Hasil	Manfaat
2.	(Kiftiah et al., 2020) “Evaluasi Kinerja Persimpangan Di Jalan Ahmad Yani–Jalan Raden Intan Kecamatan Blimbing Kota Malang”.	Untuk mengetahui kinerja lalu lintas di persimpangan antara Jl. Ahmad Yani Utara dan Jl. Raden Intan, untuk melakukan evaluasi kinerja persimpangan tersebut guna mendapatkan informasi tentang tingkat pelayanan dan performa di persimpangan tersebut.	Kapasitas simpang, derajat kejenuhan, tundaan, dan peluang antrian.	Menggunakan metode kuantitatif dengan analisis kinerja lalu lintas berdasarkan pedoman Kapasitas Jalan Indonesia tahun 2014.	Mengetahui kapasitas jalan, geometri jalan, volume lalu lintas dan tundaan	Untuk membantu perencanaan dan pengelolaan lalu lintas di Kota Malang, menyediakan bahan acuan bagi pembuat rencana induk jaringan jalan dan sistem manajemen lalu lintas di Kota Malang

No	Nama dan Judul penelitian	Tujuan Penelitian	Variabel yang diteliti	Metode Analisa	Hasil	Manfaat
3.	(Regency et al., 2024). “Analisis kinerja simpang bersinyal menggunakan Software PTV VISSIM (Studi Kasus: Simpang Proliman, Prambanan) Tamanmartani, Kabupaten Sleman, Daerah Istimewa Yogyakarta”.	Menganalisis kinerja simpang APILL Proliman Prambanan saat ini, Memprediksi kinerja simpang tersebut dalam 5 tahun mendatang dan memberikan solusi untuk meningkatkan kinerja simpang	Arus lalu lintas, derajat kejenuhan, kapasitas, tundaan, panjang antrian dan tingkat pelayanan (LOS).	Menggunakan metode kuantitatif dengan analisis kinerja lalu lintas dan pemodelan simpang dengan Vissim.	Mengetahui tundaan, panjang antrian dan tingkat pelayanan simpang.	Memberikan pemahaman tentang kinerja simpang Proliman Prambanan dan solusi untuk meningkatkan efisiensinya.

No	Nama dan Judul penelitian	Tujuan Penelitian	Variabel yang diteliti	Metode Analisa	Hasil	Manfaat
4.	(Regency et al., 2024a) “Analisis pemodelan simpang bersinyal dengan Menggunakan Software Vissim 2021”.	Menganalisis, mengevaluasi, serta memodelkan kinerja simpang bersinyal pada kondisi eksisting maupun rencana 10 tahun mendatang.	Volume lalu lintas jam puncak, kondisi geometri, waktu siklus dan panjang antrian.	Menggunakan metode kuantitatif dengan MKJI 1997 Dan PTV VISSIM 2021	Mengetahui tundaan, panjang antrian dan tingkat pelyanan simpang.	Agar simpang berjalan lebih efektif. Penambahan lebar ruas jalan dan jumlah lajur yang juga menambah kapasitas volume lalu lintas. Maka nilai derajat kejenuhan pada semua lengan berdasar rencana 10 tahun berada pada nilai <0.75 sehingga arus lalu lintas menjadi stabil.

No	Nama dan Judul penelitian	Tujuan Penelitian	Variabel yang di teliti	Metode Analisa	Hasil	Manfaat
5.	(Missa, 2021). “Evaluasi kinerja simpang bersinyal dengan metode PKJI 2014 dan VISSIM (Studi Kasus: Jl. Raya Langsep – Jl.I.R Rais – Jl.Jupri dan Jl. Mergan lori)”	Mengevaluasi kinerja simpang bersinyal dan memberikan solusi perbaikan untuk mengatasi masalah kemacetan.	Kapasitas simpang, derajat kejenuhan (DS), panjang antrian dan tundaan	Metode Pedoman Kapasitas Jalan Indonesia (PKJI) 2014 dan simulasi VISSIM 11	Mengetahui derajat kejenuhan dan panjang antrian yang memenuhi tingkat pelayanan	Memberikan informasi tentang kapasitas simpang, memberikan informasi tentang derajat kejenuhan dan memberikan solusi untuk mengurangi antrian panjang pada kondisi lalu lintas puncak.

2.7 Kerangka Teori

