

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Manajemen Lalu Lintas

(Munawar, 2004) menyatakan perlunya manajemen lalu lintas untuk transportasi, sekarang dan di masa depan, perlu ditingkatkan. Perbaikan yang diperlukan meliputi bidang rekayasa lalu lintas, perundang-undangan dan pengoperasian sistem transportasi untuk mengefisienkan pergerakan orang/kendaraan.

2.2 Persimpangan

Persimpangan adalah bagian yang saling berhubungan dari semua sistem jalan. Saat berkendara di dalam kota, kita dapat melihat bahwa sebagian besar jalan di perkotaan biasanya memiliki persimpangan di mana pengemudi dapat memutuskan untuk melanjutkan atau tidak, berbelok dan berpindah jalur. Persimpangan jalan didefinisikan sebagai area umum di mana dua atau lebih jalan bertemu atau berpotongan, termasuk jalan dan fasilitas tepi jalan untuk pergerakan lalu lintas di dalamnya. (Syarifudin Efendi, 2020)

Karena persimpangan harus digunakan bersama oleh semua orang yang membutuhkannya, persimpangan itu harus dirancang dengan hati-hati, dengan mempertimbangkan efisiensi, keselamatan, kecepatan, biaya operasi, dan kapasitas. Pergerakan lalu lintas terjadi dan urutan penanganannya dengan cara yang berbeda, tergantung pada jenis persimpangan yang diperlukan. (Syarifudin Efendi, 2020)

Berdasarkan Kapasitas (*Capacity/C*) dan Arus Lalu Lintas yang ada (*Q*) akan diperoleh angka Derajat Kejenuhan (*Degree of Saturation/DS*). Dengan nilai Derajat Kejenuhan (*DS*) dan nilai Kapasitas (*C*), dapat menghitung tingkat aktivitas setiap pendekatan serta tingkat aktivitas keseluruhan

simpang sesuai dengan rumus yang ada pada pedoman kapasitas jalan indonesia 2014. Adapun tingkat kinerja diukur pada pedoman kapasitas jalan indonesia 2014 adalah Tundaan (*Delay/D*) dan Peluang antrian.

2.3 Simpang Jalan

Persimpangan merupakan tempat bertemunya jaringan jalan raya dan juga tempat bertemunya kendaraan yang datang dari berbagai arah, dimana jalan merupakan tempat berkumpulnya sarana transportasi yang diperlukan. Persimpangan adalah tempat yang sangat penting pada suatu jalan raya. Di wilayah perkotaan, terdapat banyak persimpangan yang harus dilalui pengendara dan harus memutuskan untuk lurus, berbelok dan mengubah arah untuk sampai pada tujuannya. Persimpangan dapat didefinisikan sebagai titik interkoneksi atau konflik dari berbagai arah, di mana dua atau jalan bergabung atau berpotongan, termasuk jalan dan fasilitas pinggir jalan untuk lalu lintas bergerak. Pada sistem transportasi jalan dikenal dua macam simpang yaitu simpang bersinyal dan simpang tak bersinyal.

Berdasarkan peraturan lalu lintas simpang, simpang dibagi menjadi 2 jenis sebagai berikut:

1. Simpang Bersinyal

Pada simpang bersinyal kendaraan yang memasuki persimpangan secara bergantian untuk mendapatkan keutamaan berjalan terlebih dahulu dengan menggunakan pengatur lampu lalu lintas (*traffic light*).

2. Simpang Tak Bersinyal

Aturan yang berlaku untuk simpang tak bersinyal "*General Priority Rule*" Artinya, kendaraan yang terlebih dahulu berada dipersimpangan tersebut mempunyai hak untuk berjalan terlebih dahulu daripada kendaraan yang baru memasuki persimpangan.

2.4 Perilaku Lalu Lintas

Dalam analisis desain dan operasional (untuk perbaikan) simpang tak bersinyal yang ada, tujuannya adalah untuk membuat perbaikan kecil pada bentuk simpang untuk mempertahankan perilaku lalu lintas yang diinginkan

di sepanjang rute atau jaringan jalan. Dikarenakan adanya resiko penutupan simpang akibat kendaraan berpotongan yang datang dari arah yang berbeda maka disarankan untuk menghindari nilai Derajat Kejenuhan (*Degree of Saturation/DS*) lebih dari 0,75 selama jam puncak pada semua jenis tipe simpang tak bersinyal.

2.5 Pemilihan Tipe Simpang

Pada dasarnya simpang tak bersinyal dengan pengaturan hak jalan (sebelah kiri prioritas) untuk kawasan di daerah permukiman perkotaan dan daerah pedalaman untuk persimpangan antar jalan lokal yang arus lalu lintasnya rendah. Seperti persimpangan dengan tingkat desain yang berbeda dan/atau fungsi yang berbeda, lalu lintas pada jalan minor harus diatur dengan tanda "*Yield* atau *Stop*".

Simpang tak bersinyal sangat efektif jika berukuran kecil dengan daerah konflik lalu lintas yang tertata dengan baik, karena simpang ini sangat cocok untuk simpang dua lajur tanpa terbagi. Untuk simpang yang lebih besar, seperti antara dua jalan empat lajur, penutupan zona konflik dapat dengan mudah terjadi, yang mengakibatkan gangguan sementara pada kinerja lalu lintas jika perilaku simpang tak bersinyal dalam tundaan rata-ratanya selama jangka waktu yang lebih lama dan lebih rendah dari tipe simpang yang lain, simpang ini masih lebih disukai karena kapasitas tertentu yang dapat dipertahankan meskipun pada keadaan lalu lintas puncak.

Oleh karena itu sinyal lalu lintas atau bundaran biasanya disarankan untuk memblokir persimpangan dengan arus masuk total yang lebih dari 1000 kendaraan/jam puncak pada persimpangan antara jalan dua lajur dan lebih dari 1500 kendaraan/jam puncak jika sewaktu-waktu jalan tersebut adalah empat lajur atau lebih besar

Perubahan dari simpang tak bersinyal menjadi simpang bersinyal memiliki banyak faktor salah satunya karena pertimbangan keselamatan lalu lintas untuk mengurangi kecelakaan lalu lintas akibat tabrakan antar kendaraan yang saling berlawanan arah. Perubahan ini dapat terjadi jika mendekati kecepatan di persimpangan tinggi dan/atau jarak pandang di Lalu

lintas tidak cukup jelas karena gedung, rumah, pertokoan, pabrik atau penghalang lain di dekat sudut persimpangan. Lampu lalu lintas juga dimaksudkan untuk memudahkan penyeberangan bagi pejalan kaki di jalan utama.

2.6 Tipe Lingkungan Jalan

Lingkungan jalan diklasifikasikan ke dalam kategori menurut tata guna lahan dan akses jalan dari aktivitas sekitar. Dengan ditentukan secara kualitatif dari penilaian rekayasa lalu lintas dengan bantuan sebagai berikut:

1. Komersial adalah penggunaan lahan komersial (misalnya kantor, restoran, toko) dengan akses langsung untuk pejalan kaki dan kendaraan.
2. Permukiman tersebut merupakan tata guna lahan tempat tinggal dengan jalan masuk langsung bagi pejalan kaki dan kendaraan.
3. Akses Terbatas merupakan tanpa jalan masuk atau jalan masuk langsung terbatas (misalnya karena adanya penghalang fisik, jalan simpang dan sebagainya).

2.7 Hambatan Samping

Kelas hambatan samping menunjukkan pengaruh aktivitas samping pada jalan di daerah persimpang pada arus berangkat lalu lintas, misalnya pejalan kaki berjalan atau menyeberangi jalur, angkutan dan bus menaikkan dan menurunkan penumpang, kendaraan masuk dan keluar halaman, dan tempat parkir di jalur lajur. Hambatan samping ditentukan secara kualitatif dengan pertimbangan rekayasa lalu lintas yang Tinggi, Sedang, dan Rendah.

Tabel 2.1 Faktor Hambatan Samping

Tipe Lingkungan Jalan	HS	FHS					
		RKTB;0,00	0,05	0,10	0,15	0,20	≥0,25
Komersil	Tinggi	0,93	0,88	0,84	0,79	0,74	0,70
	Sedang	0,94	0,89	0,85	0,80	0,75	0,70
	Rendah	0,95	0,90	0,86	0,81	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; Pedoman Kapasitas Jalan Indonesia, 2014

2.8 Volume Lalu Lintas

Dalam mengukur jumlah arus lalu lintas yang digunakan “Volume”. Volume lalu lintas menurut pedoman PKJI 2014 adalah jumlah kendaraan yang melintasi suatu jalan dalam satuan waktu (hari, jam, menit). Kepadatan lalu lintas yang tinggi membutuhkan lebar jalan yang lebih besar untuk terciptanya keamanan dan kenyamanan, tetapi di sisi lain jalan yang terlalu lebar untuk lalu lintas kendaraan rendah cenderung berbahaya, karena pengemudi cenderung mengendalikan kendaraan pada kecepatan lebih tinggi dari sementara tentu saja kondisi jalan belum tentu memungkinkan. Selain itu hal ini menyebabkan peningkatan biaya pembangunan jalan yang jelas tidak pada tempatnya selain volume lalu lintas yang digunakan sehubungan dengan analisis panjang antrian adalah kapasitas

Pada simpang tak bersinyal lalu lintas mempunyai banyak ketentuan dari aturan lalu lintas yang sangat mempengaruhi kelancaran pergerakan lalu lintas yang saling berpotongan terutama di persimpangan yang merupakan perpotongan dari ruas- ruas jalan yang mempunyai kelas jalan yang sama. Karena metode yang dijelaskan dalam panduan ini adalah empiris, hasilnya harus diverifikasi oleh penelitian rekayasa lalu lintas yang baik. Hal ini sangat penting apabila metode digunakan diluar batas nilai variasi dari variabel data empiris. Batas nilai ini ditunjukkan pada Tabel 2.2 Penggunaan data tersebut

akan menyebabkan kesalahan perkiraan kapasitas yang biasanya kurang dari 20%.

Tabel 2.2 Batas Nilai Variasi Dalam Data Empiris Untuk Variabel- variable Masukan (Berdasarkan Pada Lengan Kendaraan)

Variabel	4 Lengan			3 Lengan		
	Min	Rata - rata	Maks	Min	Rata-rata	Maks
Lebar masuk	3,5	5,4	9,1	3,5	4,9	7,0
Rasio Belok Kiri	0,10	0,17	0,29	0,06	0,26	0,50
rasio belok kanan	0	0,13	0,26	0,09	0,29	0,51
Rasio arus jalan	0,27	0,38	0,50	0,115	0,29	0,41
Simpang						
%- Kendaraan ringan	29	56	75	34	56	78
%-Kendaraan berat	1	3	7	1	5	10
%-Sepeda motor	19	33	67	15	32	54
Rasio Kend tak bermotor	0,01	0,08	0,22	0,01	0,07	0,25

Sumber: Pedoman Kapasitas Jalan Indonesia, 2014

2.9 Kapasitas (c)

Kapasitas yaitu jumlah maksimum pada saat manusia dan kendaraan secara rasional diharapkan bisa melewati suatu titik dan bagian jalur yang seragam atau jalan raya ketika jangka waktu tertentu pada kondisi jalan, lalu lintas serta kondisi pengendalian pada saat itu. Kapasitas suatu ruas jalan adalah volume lalu lintas maksimum yang dapat melintas dengan stabil pada suatu potongan melintang jalan pada keadaan (geometrik, pemisah arah komposisi lalu lintas, lingkungan). Menurut Pedoman Kapasitas Jalan Indonesia 2014 besarnya kapasitas atau *Capacity (C)* dapat dihitung dengan menggunakan persamaan 2.1

$$C = C_0 \times F_{LP} \times F_M \times F_{UK} \times F_{HS} \times F_{BKI} \times F_{BKa} \times F_{RMI} \dots \dots \dots 2.1$$

Dengan

C = Kapasitas Simpang, skr/jam

C = Kapasitas Simpang, skr/jam

F_{LP} = Faktor koreksi lebar rata-rata pendekat.

F_M = Faktor koreksi untuk kapasitas dasar, sehubungan dengan tipe median jalan utama.

F_{uk} = Faktor koreksi untuk kapasitas dasar, sehubungan dengan ukuran kota

F_{HS} = Faktor penyesuaian kapasitas dasar akibat rasio kendaraan tak bermotor, hambatan samping dan tipe jalan lingkungan jalan.

F_{BKI} = Faktor penyesuaian kapasitas dasar akibat belok kiri.

F_{BKa} = Faktor penyesuaian kapasitas dasar akibat belok kanan.

F_{Rmi} = Faktor koreksi rasio arus dari jalan minor.

Adapun variable-variabel masukan untuk perkiraan Kapasitas (C) dengan menggunakan model tersebut yang disajikan pada Tabel 2.3

Tabel 2. 3 Ringkasan Variabel Masukan Model Kapasitas

Tipe variabel	Uraian variabel dan Nama Masukan	Faktor Model
Geometri	Tipe Simpang IT	FLP FM
	Lebar pendekat simpang rata	WI
	rata Tipe median jalan utama	M
Lingkungan	Kelas ukuran kota CS	FUK FHS
	Lingkungan jalan, tingkat	
	hambatan samping dan kelas	
	kendaraan tak bermotor	
Lalu lintas	Rasio belok kiri FBKI	FBKI FBKa
	Rasio belok kanan FBKa	FRmi
	Rasio pemisah arah QRMI	QRMI

Sumber: Pedoman Kapasitas Jalan Indonesia, 2014

Pada suatu persimpangan pasti ditentukan antara jalan utama dan jalan minor yang mungkin berbeda klasifikasi jalannya. Adapun kriteria jalan utama dan jalan minor dari Pedoman Kapasitas Jalan Indonesia 2014 adalah sebagai berikut ini.

1. Jalan Utama merupakan jalan yang paling penting pada persimpangan jalan, seperti halnya dari klasifikasi jalan, volume arus lalu lintasnya. Pada suatu simpang 3 atau 4 jalan yang menerus biasanya dikatakan sebagai jalan utama.

2. Jalan Minor merupakan jalan yang menyimpang disuatu persimpangan jalan dari jalan utama, yang klasifikasi jalannya lebih kecil dari jalan utama dan volume arus lalu lintasnya juga lebih rendah dari jalan utama. Biasanya lebih banyak kendaraan dari arah jalan minor yang memasuki kepersimpangan akan merubah arah menuju kejalan utama demi mencapai ke arah suatu tujuan

Kapasitas dasar ditentukan berdasarkan jenis jalan. Nilai kapasitas dasar menurut Pedoman Kapasitas Jalan Indonesia 2014 adalah sebagai berikut.

Tabel 2. 4 Kapasitas Dasar Tipe Simpang CO (skr/jam)

Tipe Simpang	Kapasitas Dasar Co (skr/jam)
322	2700
342	2900
324 atau 344	3200
424 atau 444	3400

Sumber: Pedoman Kapasitas Jalan Indonesia, 2014

1. Faktor Penyesuaian Lebar Pendekat (*FLP*)

Parameter geometrik yang dibutuhkan untuk menganalisa kapasitas dengan menggunakan metode Pedoman Kapasitas Jalan Indonesia 2014 Untuk tipe simpang 322 maka Lebar rata-rata pendekat dapat dihitung menggunakan persamaan 2.2

$$FLP = 0,70 + 0,076 \times L1 \dots \dots \dots (2.2)$$

$$WI = \frac{(L1 + L2 + L3)}{\text{Jumlah lengan simpang}}$$

Dengan:

L1 dan L2= lebar pendekat jalan minor (m).

L3 = lebar pendekat jalan utama (m).

2. Faktor penyesuai median jalan utama (*FM*)

Pertimbangan teknis lalu lintas diperlukan untuk menentukan faktor median. Median dikategorikan lebar jika kendaraan ringan standar dapat

berlindung pada wilayah median tanpa mengganggu arus lalu lintas pada jalan utama. Faktor penyesuaian diuraikan pada Tabel 2.5 berikut ini.

Tabel 2. 5 Faktor Penyesuaian Median Jalan Utama (FM)

Uraian	Tipe <i>M</i>	Faktor Koreksi Median (FM)
Tidak ada median jalan utama	Tidak ada	1,0
Ada median jalan utama, lebar < 3 m	Sempit	1,05
Ada median jalan utama, lebar > 3 m	Lebar	1,2

Sumber: Pedoman Kapasitas Jalan Indonesia, 2014

3. Faktor penyesuaian ukuran kota (F_{UK}).

Faktor penyesuaian ukuran kota (F_{uk}) ditentukan berdasarkan jumlah penduduk di kota tempat ruas jalan yang bersangkutan berada. Reduksi terhadap kapasitas dasar bagi kota berpenduduk kurang dari 1 juta jiwa dan kenaikan terhadap kapasitas dasar bagi kota berpenduduk lebih dari 3 juta jiwa. Faktor penyesuaian ukuran kota diperoleh dari Tabel 2.6 dengan variabel masukan adalah ukuran kota dan jumlah penduduk.

Tabel 2. 6 Faktor Penyesuaian Ukuran Kota (F_{cs})

Ukuran Kota (C_s)	Penduduk (juta)	Faktor Penyesuain Ukuran Kota (F_{cs})
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	

Sumber: Pedoman Kapasitas Jalan Indonesia, 2014

4. Faktor penyesuaian belok kiri (F_{Bki})

Nilai faktor penyesuaian belok kiri dapat dihitung dengan menggunakan persamaan berikut ini:

$$F_{Bki} = 0,84 + 1,61 \times R_{Bki} \dots\dots\dots(2.3)$$

Dengan:

R_{Bki} = Rasio kendaraan belok kiri

5. Faktor penyesuaian belok kanan (F_{Bka})
Merupakan faktor koreksi dari persentase seluruh gerakan lalu lintas yang belok kanan pada simpang. Faktor penyesuaian belok kanan pada simpang 4 lengan maka nilai $F_{Bka} = 1,0$.
6. Faktor penyesuaian rasio arus jalan minor (F_{RMI})
Merupakan faktor koreksi dari presentase arus jalan minor yang masuk pada persimpangan. Penentuan faktor penyesuaian rasio arus jalan minor dengan menggunakan Tabel 2.7 Variabel masukan adalah rasio arus jalan minor (PMI) dan tipe samping (IT)

Tabel 2. 7 Faktor Penyesuaian Rasio Arus Jalan Minor (F_{RMI})

IT	FMI	FMI
422	$1,19xRmi^2 - 1,19xRmi + 1,19$	0,1-0,9
424	$16,6xRmi^4 - 33,3xRmi^3 + 25,3xRmi^2 - 8,6xRmi + 1,95$	0,1-0,3
444	$1,11xRmi^2 - 1,11xRmi + 1,11$	0,3-0,9
322	$1,19xRmi^2 - 1,19xRmi + 1,19$	0,1-0,5
	$595xRmi^2 + 595xRmi^3 + 0,74$	0,5-0,9
342	$1,19xRmi^2 - 1,19xRmi + 1,19$	0,5-0,9
	$2,38xRmi^2 - 2,38xRmi + 1,49$	0,5-0,9
324	$16,6xRmi^4 - 33,3xRmi^3 + 25,3xRmi^2 - 8,6xRmi + 1,95$	0,5-0,9
344	$1,11xRmi^2 - 1,11xRmi + 1,11$	0,3-0,5
	$0,555xRmi^2 + 0,555xRmi + 0,69$	0,3-0,5

Sumber: Pedoman Kapasitas Jalan Indonesia, 2014

2.10 Derajat Kejenuhan (DJ)

Derajat kejenuhan (DJ) adalah rasio dari arus lalu lintas terhadap kapasitas untuk suatu pendekatan Derajat kejenuhan (DJ) didefinisikan sebagai perbandingan volume (Q) terhadap kapasitas (C), digunakan sebagai faktor kunci dalam penentu perilaku lalu lintas pada suatu ruas jalan. Nilai derajat kejenuhan menunjukkan apakah ruas jalan akan mempunyai masalah kapasitas atau tidak. Derajat kejenuhan (DJ) dapat dihitung dengan menggunakan persamaan 2.6 sebagai berikut:

$$DJ = Q_{tot}/C \dots \dots \dots (2.6)$$

Dengan:

C = kapasitas (skr/jam)

Q_{tot} = Jumlah arus total (skr /jam)

Nilai Derajat Kejenuhan (DJ) pada suatu simpang menurut Pedoman Kapasitas Jalan Indonesia 2014 dapat dikatakan tinggi yaitu mempunyai nilai lebih dari 0,75 ($>0,75$).

2.11 Tundaan (D)

Tundaan adalah waktu tempuh tambahan yang diperlukan untuk melewati suatu persimpangan dibandingkan terhadap situasi bila tidak terdapat persimpangan. Tundaan (*Delay*) pada simpang terjadi karena adanya beberapa faktor- faktor seperti Tundaan lalu lintas simpang (TLL), Tundaan lalu lintas jalan utama ($TLLMA$), Tundaan lalu lintas jalan minor ($TLLMI$), Tundaan karena geometrik simpang (DG), dan tundaan simpang (D). Merupakan nilai rata-rata waktu tunggu tiap kendaraan yang masuk pada simpang dibandingkan kendaraan melaju tanpa melewati simpang. Berdasarkan pedoman Pedoman Kapasitas Jalan Indonesia 2014 tundaan lalu lintas atau *Delay Traffic (DT)* simpang dapat dikatakan dalam kondisi stabil dengan nilai tundaan tidak melebihi nilai maksimum yaitu 15 det/skr. Tundaan lalu lintas rata- rata pada simpang dapat dihitung dengan formula sebagai berikut:

1. Tundaan lalu lintas simpang (TLL)

Merupakan tundaan lalu lintas rata-rata semua kendaraan bermotor yang masuk pada simpang. Tundaan lalu lintas pada simpang dapat dihitung dengan persamaan 2.7

$$TLL = 1,0504 / (0,2742 - 0,2042 \times DJ) - (1 - DJ) \times 2(DJ > 0,6) \dots\dots\dots (2.7)$$

2. Tundaan lalu lintas jalan utama (T_{LLMA})

Merupakan tundaan lalu lintas rata-rata semua kendaraan bermotor yang masuk persimpangan dari jalan utama. Tundaan lalu lintas jalan utama dapat dihitung dengan persamaan 2.8

$$T_{LLMA} = 1,0503 / (0,346 - 0,246 \times DJ) (1 - SDJ) \times 2 (DJ > 0,6) \dots \dots \dots (2.8)$$

3. Tundaan lalu lintas jalan minor (T_{LLMI})

Pada tundaan lalu lintas jalan minor rata-rata, ditentukan berdasarkan tundaan simpang rata-rata dan tundaan jalan utama rata-rata. Tundaan lalu lintas jalan minor dapat dihitung dengan persamaan 2.9

$$T_{LLMI} = (Q_{tot} \times TLL - QMA \times TLLMA) / QMI \dots \dots \dots (2.9)$$

Dimana:

- a. Q_{tot} = jumlah arus total (skr/jam)
- b. TLL = Tundaan lalu lintas simpang (skr/det)
- c. QMA = Arus total jalan utama (skr/jam)
- d. $TLLMA$ = Tundaan lalu lintas jalan utama (skr/det)
- e. QMI = Arus total jalan simpang (skr/jam)

4. Tundaan geometrik simpang (TG)

Merupakan tundaan geometrik rata-rata semua kendaraan bermotor yang masuk pada simpang. Tundaan geometrik dapat dihitung dengan persamaan 2.10

$$TG = (1 - DJ) \times (PT \times 6 + (1 - PT) \times 3) + DJ \times 4 (DJ < 1,0) \dots \dots \dots (2.10)$$

$$TG = (DJ > 1,0) \dots (2.10)$$

Dimana:

- TG = Tundaan geometrik simpang (det/skr)
- DJ = Derajat kejenuhan
- PT = Rasio belok total

5. Tundaan simpang (T)

Merupakan semua tundaan geometrik simpang dan tundaan lalu lintas yang ada pada simpang. Tundaan simpang dapat dihitung dengan persamaan 2.11

$$T = TG + TLL \dots \dots \dots (2.11)$$

Dimana:

TG = Tundaan geometrik simpang (det/skr)

TLL = Tundaan lalu lintas simpang (det/skr)

2.12 Peluang antrian (PA)

Rentang nilai peluang antrian (PA) menunjukkan hubungan empiris antara peluang antrian dan derajat kejenuhan (DJ) yang terletak antara garis (PKJI 2014). Peluang antrian dapat dihitung dengan menggunakan persamaan 2.12 dan 2.13.

$$\text{Batas atas } PA\% = 47,71 \times DJ - 24,68 \times DJ^2 + 56,47 \times DJ^3 \dots \dots \dots (2.12)$$

$$\text{Batas bawah } PA\% = 9,02 \times DJ + 20,66 \times DJ^2 + 10,49 \times DJ^3 \dots \dots \dots (2.13)$$

2.13 Perhitungan Rasio Berbelok dan Rasio Arus Jalan Simpang

Perhitungan rasio berbelok dan rasio arus jalan minor dapat dihitung menggunakan persamaan 2.14

1. Rasio arus jalan simpang (Co)

$$CO = QMI / Qtot \dots \dots \dots (2.14)$$

Dengan:

QMI = arus total jalan simpang (skr/jam)

$Qtot$ = Jumlah arus total (skr/jam)

2. Rasio belok Kiri (F_{BK_i})

$$RBK_i = QBK_i / Qt \dots \dots \dots (2.15)$$

Dengan:

QBK_i = arus total belok kiri (skr/jam)

$Qtot$ = Jumlah arus total (skr/jam)

3. Rasio belok kanan (R_{bka})

$$RBka = QBKa / Qtot \dots \dots \dots (2.16)$$

Dengan:

$QBKa$ = arus total belok kanan (skr/jam)

$QBKa$ = arus total belok kanan (skr/jam)

Rasio antara lalu lintas kendaraan bermotor dengan kendaraan tak bermotor

$$(PLL) PLL = Q_{KTB} / Q_{tot} \dots \dots \dots (2.17)$$

Dengan:

Q_{KTB} = Arus kendaraan tak bermotor pada persimpangan (skr/jam)

Q_{tot} = Jumlah arus total (skr/jam)

2.14 Alat Pemberi Isyarat Lalu Lintas (APILL)

Alat Pemberi Isyarat Lalu Lintas adalah perangkat peralatan teknis yang menggunakan isyarat lampu untuk mengatur lalu lintas orang dan/atau kendaraan di persimpangan atau pada ruas jalan (Bonev and Alexandrov, 1993). Luminer adalah seperangkat peralatan yang merupakan bagian dari alat pemberi isyarat lalu lintas dan berfungsi untuk menghasilkan, mengatur, dan mendistribusikan pencahayaan. Kemudian tiang penyangga adalah pipa berbahan logam atau bahan lainnya yang digunakan untuk menambatkan Luminer.

2.14.1 Jenis APILL

Jenis Alat Pemberi Isyarat Lalu Lintas terdiri atas:

1. Lampu tiga warna;
2. Lampu dua warna; dan
3. Lampu satu warna.

Alat pemberi isyarat lalu lintas sebagaimana dimaksud dalam jenis APILL dibagi menjadi dua bagian berupa:

1. Alat pemberi isyarat lalu lintas otonom yaitu dalam waktu siklusnya hanya dapat dilakukan oleh alat pemberi isyarat lalu lintas yang bersangkutan atau berdiri sendiri
2. Alat pemberi isyarat lalu lintas terkoordinasi yaitu dalam pengaturan waktu siklusnya terkoordinasi dan berinteraksi dengan alat pemberi isyarat lalu lintas yang dipasang pada lokasi lain.

2.14.2 Fungsi APILL

Alat Pemberi isyarat lalu lintas sebagaimana dimaksud dalam jenis lampu APILL berfungsi untuk mengatur lalu lintas orang dan/atau kendaraan di persimpangan atau pada ruas jalan. Alat pemberi isyarat lalu lintas dengan lampu tiga warna dipergunakan untuk mengatur kendaraan, lampu tiga warna terdiri dari lampu berwarna

1. Merah, lampu berwarna merah untuk menyatakan kendaraan harus berhenti dan tidak boleh melewati marka melintang yang berfungsi sebagai garis henti.
2. Kuning, lampu berwarna kuning untuk memberikan peringatan bagi pengemudi:
 - a. lampu berwarna kuning yang menyala sesudah lampu berwarna hijau padam, menyatakan lampu berwarna merah akan segera menyala, kendaraan bersiap untuk berhenti; dan
 - b. lampu berwarna kuning yang menyala bersama dengan lampu berwarna merah, menyatakan lampu berwarna hijau akan segera menyala, kendaraan bersiap untuk bergerak.
3. Hijau, lampu berwarna hijau menyatakan kendaraan berjalan.

Alat pemberi isyarat lalu lintas dengan lampu tiga warna tersusun secara:

1. Vertikal berurutan dari atas ke bawah berupa lampu berwarna merah, kuning, dan hijau; atau
2. Horizontal berurutan dari sudut pandang pengguna Jalan dari kanan ke kiri berupa lampu berwarna merah, kuning, dan hijau.

2.14.3 Spesifikasi Teknis Alat Pemberi Isyarat Lalu Lintas

Komponen utama alat pemberi isyarat lalu lintas terdiri atas:

1. Luminer

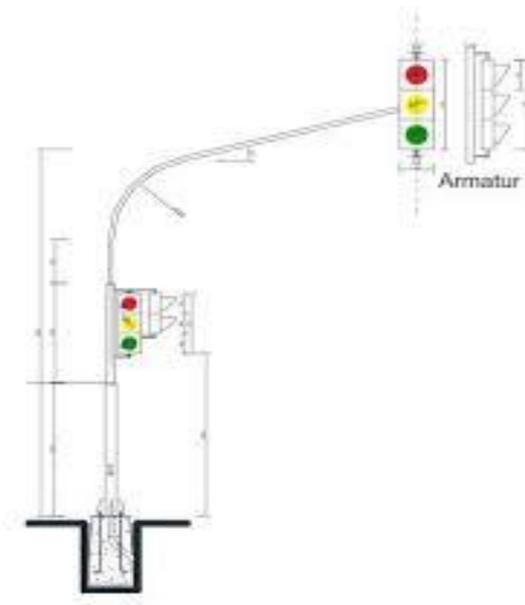
- a. Lampu, lampu menggunakan lampu dengan nilai koefisien iluminasi paling sedikit 30 milicandela per meter persegi dan paling besar 90 milicandela per meter persegi.
 - b. Amatur, amatur terdiri atas rumah lampu; komponen optis yang berfungsi sebagai pendistribusian cahaya berbentuk bulat dengan diameter paling kecil 20 sentimeter dan paling besar 30 sentimeter;udukan dan/atau konektor lampu antara 60watt sampai dengan 100watt dan komponen mekanik yang berfungsi sebagai penambat lumener pada tiang penyangga.
 - c. Catu, catu berupa sumber tenaga dari jaringan listrik setempat atau dengan menggunakan baterai.
2. Tiang penyangga
 - a. Tiang lurus
 - b. Tiang lengkung
 - c. Tiang siku
 - d. Tiang gawang.
 3. Bangunan konstruksi pondasi
 - a. Bangunan konstruksi pondasi cor di tempat (*cast in situ*) dan/atau
 - b. Bangunan konstruksi pondasi cor di luar (*back casting*).
 4. Kabel instalasi.

2.14.4 Tata Cara Penempatan dan Pemasangan

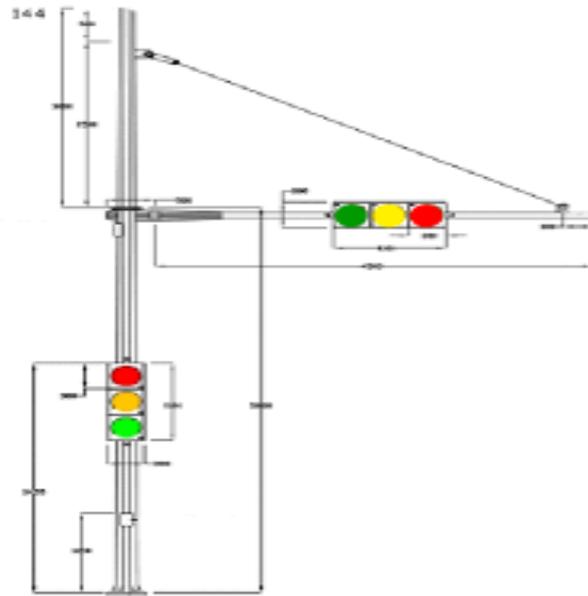
Penempatan dan pemasangan Alat Pemberi Isyarat Lalu Lintas harus memperhatikan:

1. Desain geometrik jalan
2. Kondisi tata guna lahan
3. Jaringan lalu lintas dan angkutan jalan
4. Situasi arus lalu lintas
5. Kelengkapan bagian konstruksi jalan
6. Kondisi struktur tanah
7. Konstruksi yang tidak berkaitan dengan pengguna jalan

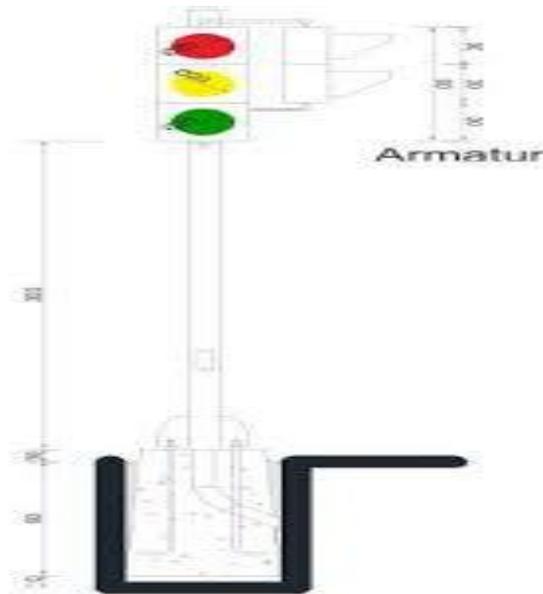
Alat pemberi isyarat lalu lintas dengan lampu tiga warna yang dipasang pada persimpangan ditempatkan di sebelah kiri jalur lalu lintas kendaraan dan menghadap arah lalu lintas kendaraan. Jarak paling sedikit 60 (enam puluh) sentimeter diukur dari bagian terluar armatur ke tepi paling luar bahu jalan. APILL dengan lampu tiga warna memiliki tinggi penempatan armatur paling rendah 300 sentimeter diukur dari permukaan jalan tertinggi sampai dengan sisi armatur bagian bawah. Posisi armatur diputar ke kanan atau ke kiri paling banyak 5 derajat menghadap permukaan jalan dari posisi tegak lurus sumbu jalan sesuai dengan arah lalu lintas.



Gambar 2.1 Tiang Pelengkung



Gambar 2.2 Tiang Siku



Gambar 2.3 Tiang Lurus

3 detik. Sinyal kuning juga biasa ditempatkan antara sinyal merah dan hijau.

2. Fase (*Phase*)

Selang waktu dimana sekelompok kendaraan bergerak secara bersama-sama. Lampu lalu lintas bertujuan agar ruang persimpangan dapat digunakan secara bergantian dengan skenario fase.

3. Arus jenuh (*Saturation flow*)

Arus keberangkatan maksimum yang dapat dihasilkan dari suatu lengan persimpangan selama selang waktu hijau (smp/waktu hijau) yang merupakan fungsi dari lebar efektif lengan persimpangan.

2.16 Waktu Pada Sinyal Lampu Lalu Lintas

Pada Tahapan Perhitungan desain lampu lalu lintas dengan menggunakan metode webster.

1. Waktu Antar Hijau dan Waktu Hilang

Waktu antar hijau adalah periode kuning dan merah semua antara dua fase yang berurutan, arti dari keduanya sebagai berikut ini:

- a. Panjang waktu kuning per fase (WK_i) pada sinyal lalu lintas perkotaan di Indonesia adalah 3,0 detik.
- b. Waktu merah semua pendekat adalah waktu dimana sinyal merah menyala bersamaan dalam semua pendekat yang dilayani oleh dua fase sinyal yang berurutan. Fungsi dari waktu merah semua adalah memberikan kesempatan bagi kendaraan terakhir (melewati garis henti pada akhir sinyal kuning) berangkat sebelum kedatangan kendaraan pertama dari fase berikutnya.

Waktu hilang (lost time) adalah jumlah semua periode antar hijau dalam siklus yang lengkap. Waktu hilang dapat diperoleh dari beda antara waktu siklus dengan jumlah waktu hijau dalam semua fase. $LTI = \sum (\text{semua merah} + \text{kuning})$

2. Waktu Siklus dan Waktu Hijau

Waktu siklus adalah urutan lengkap dari indikasi sinyal (antara dua sinyal saat permulaan hijau yang berurutan di dalam pendekatan yang sama). Waktu siklus yang paling rendah akan menyebabkan kesulitan bagi pejalan kaki untuk menyebrang, sedangkan waktu siklus yang lebih besar menyebabkan memanjangnya antrian kendaraan dan bertambahnya tundaan, sehingga akan mengurangi kapasitas keseluruhan simpang

a. Waktu siklus sebelum penyesuaian

$$C_o = \frac{(1,5 \times LT + 5)}{(1 - Y_i)}$$

Dengan:

C_o = waktu siklus sebelum penyesuaian

LT = $L_1 + L_2$ = waktu hilang total per siklus

L_1 = waktu hilang di awal periode hijau, dimana kendaraan kehilangan start awal pada saat mau memulai pergerakan

L_2 = waktu hilang di akhir periode hijau, akibat masih adanya kendaraan yang melewati simpang pada saat nyala kuning

Y_i = rasio arus simpang fase i

ΣY_i = total rasio arus simpang fase i

b. Waktu hijau efektif (WHE_i)

Waktu hijau efektif untuk masing-masing fase:

$$WHE_i = (C_o - LT) \times (Y_i / \Sigma Y_i)$$

Dengan:

WHE_i = waktu hijau efektif pada fase i

c. Waktu hijau aktual (WHA_i)

Waktu hijau aktual untuk masing-masing fase:

$$WHA_i = WHE_i + LT - WK_i$$

Dengan;

WK_i = waktu kuning pada fase i

2.17 Kondisi Arus Lalu Lintas

Kumpulan data arus lalu lintas diperlukan untuk menganalisa periode jam puncak dan jam lewat puncak. Arus lalu lintas di dalam smp/jam bagi masing-masing jenis kendaraan untuk kondisi terlindungi dan atau terlawan dapat dilihat pada tabel berikut:

Tabel 2.8 Arus Lalu Lintas dalam smp/jam

Tipe kendaraan	Emp	
	Pendekat terlindungi	Pendekat terlawan
LV	1,0	1,0
HV	1,3	1,3
MC	0,2	0,4

Sumber: Pedoman Kapasitas Jalan Indonesia, 2014

2.18 Penelitian Terdahulu

1. (Haryadi, 2018) Simpang Selokan Mataram adalah simpang yang mempertemukan jalan Selokan Mataram dan jalan Wakid Hasyim. Dari hasil penelitian awal menunjukkan sering terjadinya kemacetan karena arus lalu lintas yang tinggi dan kapasitas yang kurang memadai, terutama pada jam sibuk. Dengan menurunnya kinerja simpang akan menimbulkan kerugian pada penggunaan jalan karena terjadinya penurunan kecepatan, pengingkatan tundaan dan antrian kendaraan yang mengakibatkan naiknya biaya operasional kendaraan. Jenis penelitian yang digunakan ialah observasi dimana pengambilan data primer yang dilakukan di lapangan. Selama 2 hari (senin dan sabtu) dengan jam sibuk jam 13.00-14.00 pada hari senin.

Hasil analisis kinerja simpang tak bersinyal Selokan Mataram pada kondisi eksisting menunjukan hasil kurang baik yang berpedoman pada Direktorat Jenderal Bina Marga (MKJI 1997). Kapasitas yang didapatkan adalah sebesar 3055,46 smp/jam, derajat kejenuhan sebesar 1,03; tundaan simpang sebesar 20,34 det/smp; dan peluang antrian sebesar 83,80% (batas atas) dan 42,25% (batas bawah). Untuk memperbaiki

kinerja simpang bersinyal Selokan Mataram, dibuat tiga alternatif sesuai kondisi yang ada di simpang Selokan Mataram, alternatif pemecahan masalah yang maksimal untuk simpang tak bersinyal ini adalah alternatif III yaitu merencanakan bagian jalinan tunggal yang berpedoman MKJI 1997 dimana penambahan ruas pada Utara jalan Selokan Mataram menunjukkan kapasitas 3437,65 smp/jam; arus bagian jalinan 1573 smp/jam, derajat kejenuhan 0,46 dan waktu tmpuh rata-rata 12,25 detik.

2. (Waris, 2018) Salah satu jenis simpang adalah jenis simpang tak bersinyal, simpang tak bersinyal yang berada di pasar majene merupakan simpang empat lengan yang terletak di jalan lanto dg. Pasewang dengan jalan melati. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui nilai skr/jam dan kinerja simpang tak bersinyal pada simpang tiga pasar Majene. Metode penelitian ini adalah survei lapangan yaitu dilakukan dengan meneliti secara langsung di lapangan untuk mendapatkan data-data yang dibutuhkan. perhitungan data kinerja simpang tak bersinyal menggunakan metode Pedoman Kapasitas Jalan Indonesia 2014.

Hasil analisa yang diperoleh, nilai kapasitas dari tujuh hari pengamatan didapat nilai 2.203,03 skr/jam, nilai derajat kejenuhan $DJ=1,4 > 0,60$, terlalu tinggi terjadi pada hari Minggu pukul 10.00-14.00 WIB dan nilai tundaan diperoleh sebesar 24,9 det/skr. Nilai peluang antrian berkisar antara 49%-97%. Dari hasil penelitian ini masih dikategorikan layak untuk menampung arus lalu lintas kendaraan yang masuk simpang sebesar 7.874 skr/jam. Untuk menurunkan nilai ini, ada beberapa pilihan yang dapat dilakukan. Salah satunya adalah dengan mengadakan pemasangan rambu larangan berhenti untuk menurunkan hambatan samping sehingga hambatan samping dianggap menjadi rendah, maka kapasitas Simpang meningkat.

3. (I Wayan Putra Praja Utama, A.A Gede Sumanjaya, 2017) Persimpangan Jalan Pulau Galang, Jalan Taman Pancing dan Jalan Tukad Baru merupakan salah satu persimpangan yang arus lalu lintasnya cukup

padat. Jika dilihat dari kemacetan yang kerap terjadi pada persimpangan ini, dapat diketahui bahwa diperlukan adanya suatu penerapan Manajemen Lalu Lintas, yaitu pemasangan lampu lalu lintas (APILL). Maka dari itu tujuan penulisan tugas akhir ini antara lain adalah untuk menganalisis kinerja persimpangan tak bersinyal (keadaan sekarang) dan merencanakan pengaturan lalu lintas menggunakan traffic light.

Dari hasil analisis tersebut didapat bahwa kinerja simpang pada jam puncak siang dan sore, memiliki kapasitas (C) puncak siang 2566 smp/jam dan puncak sore 2460 smp/jam, derajat kejenuhan (DS) pada jam puncak siang 0,96 dan jam puncak sore 1, tundaan rata-rata simpang (D) pada jam puncak siang 18.35 dtk/smp, dan jam puncak sore 20 dtk/smp, peluang antrian (QP%) pada jam puncak siang 73 – 36 %, dan jam puncak sore 79 – 40 %, tingkat pelayanan C untuk jam puncak siang dan sore. Untuk memperbaiki dan mengatasi masalah pada persimpangan maka selanjutnya dilakukan perencanaan yaitu pengaturan rambu lalu lintas (*traffic light*). Jenis pengaturan simpang yang dipilih adalah pengaturan simpang dengan sinyal dua fase, karena tundaan yang didapat relative paling kecil, memasuki level B pada perhitungan tingkat pelayanan. Dibandingkan dengan pengatur sinyal tiga fase dengan penentuan hijau awal pada pendekat jalan mayor atau minor dan pengaturan sinyal empat fase dengan arus berangkat satu persatu pada masing-masing pendekat, tingkat pelayanannya lebih besar dari pengaturan sinyal dua fase.

4. (Juniardi, 2006) Simpang tak bersinyal di Kota Yogyakarta khususnya simpang Tunjung dan simpang Timoho saat ini berpotensi terjadi kemacetan lalu lintas dan kecelakaan. Hal ini disebabkan ruas jalan major merupakan jalan menuju pusat perekonomian, pusat perkantoran pemerintah dan pemukiman. Penelitian ini dilakukan di simpang tak bersinyal tiga lengan (simpang Tunjung: Jl. dr. Sutomo Utara – Jl. Tunjung – Jl. dr Sutomo Selatan) dan simpang tak bersinyal empat lengan (simpang Timoho: Jl. IPDA Tut Harsono Utara - Jl. Bale Rejo – Jl. IPDA

Tut Harsono Selatan - Jl. Timoho). Survei dilakukan pada jam puncak (peak hour) pagi, jam tidak puncak (*off peak hour*) siang, dan jam puncak (*peak hour*) sore menggunakan kamera video. Hari Senin dan Rabu di simpang Timoho, hari Selasa dan Kamis di simpang Tunjung.

Analisis Kinerja simpang tak bersinyal menggunakan Manual Kapasitas Jalan Indonesia 1997. Analisis Lag kritis menggunakan metode *Raff*. Analisis potensi kapasitas lalulintas jalan minor belok kanan pada volume konflik lalulintas simpang menggunakan formula HCM 1994. Analisis bertujuan untuk mengetahui kondisi arus lalulintas di simpang tak bersinyal, waktu lag kritis dan potensi kapasitas lalulintas belok kanan dari jalan minor yang dapat memasuki simpang. Hasil analisis kinerja kedua simpang terlihat derajat kejenuhan melebihi 1,00 dan tundaan rata-rata melebihi 15 detik /smp serta peluang antrian lebih besar dari 35%. Hal ini mengindikasikan kondisi kedua simpang tersebut buruk. Nilai Lag kritis simpang Timoho 2,94 detik dan simpang Tunjung 2,70 detik. Dengan demikian perilaku pengemudi pada lalulintas yang lebih ramai tidak menunggu celah. Potensi kapasitas lalulintas belok kanan dari jalan minor pada volume konflik lalulintas simpang Timoho di pendekatan barat 4,36% - 20,95%, di pendekatan timur 7,51% - 34,56%, dan di simpang Tunjung 0,78% - 16,32%. Serapan kendaraan belok kanan dari jalan minor di simpang Tunjung sangat kecil sehingga terjadi penumpukan kendaraan di jalan minor.

5. (Azwansyah, 2019) Penelitian ini bertujuan untuk merencanakan lampu lalu lintas di simpang tiga lengan Jalan Imam Bonjol – Abdul Jalan Rahman Saleh di Kota Pontianak. Studi ini membutuhkan data geometrik simpang dan lalu lintas kendaraan yang diperoleh dari survei lapangan. Penelitian ini menghasilkan perencanaan lampu lalu lintas 3 fasa dengan waktu siklus 160 detik. Waktu hijau aktual untuk fase 1 (Jl. Imam Bonjol (a)) sama dengan 66 detik, untuk fase 2 (Jl. Imam Bonjol (b)) sama dengan 63 kedua, dan untuk tahap 3 (Jalan Abdul Rahman Saleh) sama dengan 10 detik.