

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Dasar Teori

2.1.1 Simpang Tak Bersinyal

MKJI 1997 menyatakan bahwa nilai kecelakaan untuk Simpang Tak Bersinyal diperkirakan sebesar 0,60 kecelakaan kendaraan akibat kurangnya perhatian pengemudi terhadap rambu *Yield* dan rambu Stop (Sukarno, dkk, 2003). Sehingga dapat menyebabkan perilaku pengemudi yang melintas area simpang untuk menerobos dan memaksa memasuki kendaraannya pada lengan jalan yang akan dilaluinya, peristiwa tersebut dapat menimbulkan antrian kemacetan lalu lintas bahkan berpotensi untuk terjadinya kecelakaan.

2.1.2 Volume Lalu Lintas

Data untuk volume lalu lintas menggunakan pengambilan data dua jam pada jam sibuk dengan interval waktu perlima belas menit setiap lengan simpang. Volume lalu lintas didapat dengan cara menghitung jumlah kendaraan yang melewati lengan simpang, jenis kendaraan mengacu pada MKJI 1997 yaitu kendaraan ringan atau *Light Vehicle* (LV), kendaraan berat atau *Heavy Vehicle* (HV), sepeda motor atau *Motor Cycle* (MC) dan kendaraan tidak bermotor atau *Unmotorozed* (UM). Pengambilan jumlah volume lalu lintas dilakukan dengan menggunakan bantuan aplikasi Hand Counter via handphone kemudian akan dicatat pada kertas format survey perhitungan volume lalu lintas.

2.1.3 Kondisi Geometrik

Data masukan lain yang diperlukan untuk analisis adalah perhitungan rasio belok dan rasio arus jalan. Rasio dihitung menggunakan rumus sebagai berikut:

$$PLT = \frac{QLT}{QTOT} = \frac{ALT+BLT+CLT+DLT}{A+B+C+D} \dots\dots\dots (2.1)$$

$$PRT = \frac{QRT}{QTOT} = \frac{ART+BRT+CRT+DRT}{A+B+C+D} \dots\dots\dots (2.2)$$

$$PUM = \frac{QUM}{QTOT} = \frac{AUM+BUM+CUM+DUM}{A+B+C+D} \dots\dots\dots (2.3)$$

$$QTOT = A + B + C + \dots\dots\dots (2.4)$$

Keterangan:

QLT : arus kendaraan belok kiri (smp/jam)

QRT : arus kendaraan belok kanan (smp/jam)

QMI : arus kendaraan pada jalan minor (smp/jam)

QUM : arus kendaraan tak bermotor (smp/jam)

QTOT : arus kendaraan total pada persimpangan (smp/jam)

ALT, BLT, CLT, DLT menunjukkan arus lalu lintas belok kiri

ART, BRT, CRT, DRT menunjukkan arus belok kanan

AMI, CMI menunjukkan arus pada jalan minor

AUM, BUM, CUM, DUM menunjukkan arus kendaraan tak bermotor

PRT : rasio belok kanan

PLT : rasio belok kiri

PMI : rasio arus jalan minor

PUM : rasio kendaraan tak bermotor

A, B, C, D menunjukkan arus lalu lintas dalam smp/jam

Parameter geometrik untuk analisis kapasitas adalah sebagai berikut:

a) Lebar Pendekat (W)

Lebar Pendekat yaitu area pada lengan jalan simpang untuk kendaraan yang akan mengantri sebelum keluar dari garis henti.

Dengan mendeskripsikan lengan A adalah minor sedangkan lengan B dan D adalah major atau jalan utama. Maka lebar pendekat setiap lengan yaitu W_A, W_B, W_D . Perhitungan:

$$W_{AC} = W_A / 2 \dots\dots\dots (2.5)$$

$$W_{BD} = W_B + W_D / 2 \dots\dots\dots (2.6)$$

Lebar rata-rata untuk seluruh pendekat tersebut adalah:

$$W_1 = (W_A + W_B + W_D) / 3 \text{ (3=jumlah lengan)} \dots\dots\dots (2.7)$$

Dengan:

$$W_A = a/2 \text{ (m)}$$

$$W_B = b/2 \text{ (m)}$$

$$W_D = d/2 \text{ (m)}$$

b) Jumlah Lajur

Jumlah lajur untuk perhitungan kapasitas ditentukan dari lebar rata-rata lengan minor atau major. Dapat dilihat pada Tabel 2.1.

Tabel 2. 1 Hubungan Lebar Pendekat dan Jumlah Lajur

Lebar pendekat minor dan major WBD, WA (m)	Jumlah lajur (total untuk kedua arah)
$WBD = (b/2 + d/2)/2 <5,5>5,5$	2
	4
$WA = (a/2 + c/2)/2 <5,5>5,5$	2
	4

Sumber: *Simpang Tak Bersinyal MKJI 1997*

c) Tipe Simpang (IT)

Tabel 2. 2 Tipe Simpang

Kode (IT)	Jumlah lengan Simpang	Jumlah lajur (minor)	Jumlah lajur (major)
322	3	2	2
324	3	2	4
342	3	4	2

Sumber: *Simpang tak bersinyal MKJI 1997*

2.2 Menentukan Kapasitas

2.2.1 Kapasitas Dasar

Kapasitas dasar yaitu kapasitas total persimpangan pada kondisi tertentu yang sudah ditentukan sebelumnya (kondisi dasar). Kapasitas dasar yaitu menentukan dasar tipe simpang. Untuk menentukan nilai dari kapasitas dasar dapat dilihat pada tabel 2.3.

Tabel 2. 3 Kapasitas Dasar Menurut Tipe Simpang

Tipe Simpang (IT)	Kapasitas Dasar (smp/jam)
322	2700
342	2900
324 atau 344	3200

Sumber: *Simpang tak bersinyal MKJI 1997*

2.2.2 Faktor Penyesuaian Lebar Pendekat (FW)

Faktor penyesuaian lebar pendekat (FW) adalah perhitungan faktor penyesuaian yang digunakan untuk menghitung kapasitas dasar yang berhubungan dengan perhitungan lebar masuk persimpangan jalan. Faktor ini diperoleh dari rumus tabel 2.4.

Tabel 2. 4 Faktor Penyesuaian Lebar Pendekat

Tipe Simpang	Faktor Penyesuaian Lebar Pendekat (Fw)
1	2
322	$0,076 W_1$
324	$0,62 + 0,0646 W_1$
342	$0,0698 W_1$

Sumber: *Simpang tak bersinyal MKJI 1997*

2.2.3 Faktor Penyesuaian Median Jalan Utama (FM)

Faktor ini merupakan faktor penyesuaian kapasitas dasar yang telah berhubungan dengan tipe median jalan utama. Tipe median jalan utama merupakan median jalan yang kemungkinan menggunakan media tersebut untuk menyeberang dalam dua tahap. Besarnya faktor penyesuaian median dapat dilihat pada tabel 2.5.

Tabel 2. 5 Penyesuaian Median Jalan Utama

Uraian	Tipe Median	Faktor penyesuaian Median (FW)
--------	-------------	--------------------------------

Tidak ada median jalan utama	Tidak ada	1,00
Ada median jalan utama	Sempit	1,05
Ada median jalan utama	Lebar	1,20

Sumber: *Simpang tak bersinyal MKJI 1997*

2.2.4 Faktor Penyesuaian Ukuran Kota (FCS)

Faktor ini dipengaruhi dengan variabel besar atau kecil jumlah penduduk. Dapat dilihat pada tabel 2.6.

Tabel 2. 6 Faktor Penyesuaian Ukuran Kota

Ukuran kota (CS)	Penduduk (juta)	Faktor penyesuaian ukuran kota
Sangat kecil	< 0,1	0,82
Kecil	0,1 – 0,5	0,88
Sedang	0,5 – 1,0	0,94
Besar	1,0 – 3,0	1,00
Sangat besar	> 3,0	1,05

Sumber: *Simpang tak bersinyal MKJI 1997*

2.2.5 Faktor Penyesuaian Tipe Lingkungan, Kelas Hambatan Samping dan Kendaraan Tak Bermotor (FRSU)

Tipe Lingkungan jalan dibagi berdasarkan jenis dari kelas tata guna tanah dan Aksesibilitas jalan dari aktivitas lingkungan sekitar.

Tabel 2. 7 Tipe Lingkungan Jalan

Komersial	Tata guna tanah komersial (misalnya pertokoan, perkantoran, rumah makan) dengan jalan masuk langsung bagi pejalan kaki dan kendaraan
Pemukiman	Tata guna lahan tempat tinggal depan masuk langsung bagi pejalan kaki dan kendaraan
Akses terbatas	Tanpa jalan masuk atau jalan masuk langsung terbatas

Sumber: *Simpang tak bersinyal MKJI 1997*

Pada FRSU yang telah menjadi variabel yaitu tipe lingkungan jalan (RE), kelas hambatan samping (SF) dan rasio kendaraan tak bermotor (PUM).

Tabel 2. 8 Faktor Penyesuaian Tipe Lingkungan Jalan, Hambatan Samping Kendaraan Tak Bermotor (FRSU)

Kelas tipe lingkungan jalan (RE)	Kelas hambatan samping (SF)	Rasio kendaraan tak bermotor (RUM)					
		0,00	0,05	0,03	0,15	0,20	≥0,25
Komersial	tinggi	0,93	0,88	0,84	0,79	0,74	0,70
	sedang	0,94	0,89	0,85	0,80	0,75	0,71
	rendah	0,95	0,90	0,86	0,81	0,76	0,71
Pemukiman	tinggi	0,96	0,91	0,87	0,82	0,77	0,72
	sedang	0,97	0,92	0,88	0,83	0,78	0,73
	rendah	0,98	0,93	0,89	0,84	0,79	0,74
Akses terbatas	tinggi/średang/rendah	1,00	0,95	0,90	0,85	0,80	0,75

Sumber: *Simpang Tak Bersinyal MKJI 1997*

Menentukan tinggi, sedang dan rendah hambatan samping berdasarkan hasil data dilapangan dan dihitung berdasarkan formulir MKJI 1997.

2.2.6 Faktor Penyesuaian Belok Kiri (FLT)

Perhitungan yang digunakan untuk mencari faktor penyesuaian belok kiri yaitu:

$$FLT = 0,84 + 1,61 PLT \dots\dots\dots (2.8)$$

2.2.7 Faktor Penyesuaian Belok Kanan (FRT)

Perhitungan faktor penyesuaian belok kanan untuk simpang tiga lengan yaitu:

$$FRT = 1,9 - 0,922 \times PRT \dots\dots\dots (2.9)$$

2.2.8 Faktor Penyesuaian Rasio Arus Minor (FMI)

Pada perhitungan faktor penyesuaian rasio arus minor ini mempengaruhi perhitungan rasio arus pada jalan (PMI) dan tipe simpang (IT) pada

persimpangan jalan tersebut.

Tabel 2. 9 Faktor Penyesuaian Arus Jalan Minor

IT	FMI	PMI
422	$1,19 \times \text{PMI}^2 - 1,19 \times \text{PMI} + 1,19$	0,1 – 0,9
424	$16,6 \times \text{PMI}^4 - 33,3 \times \text{PMI}^3 + 25,3 \times \text{PMI}^2 - 8,6 \times \text{PMI} + 1,95$	0,1 – 0,3
444	$1,11 \times \text{PMI}^2 - 1,11 \times \text{PMI} + 1,11$	0,3 – 0,9
322	$1,19 \times \text{PMI}^2 - 1,19 \times \text{PMI} + 1,19$	0,1 – 0,5
	$0,595 \times \text{PMI} + 0,59 \times \text{PMI}^3 + 0,74$	0,5 – 0,9
342	$1,19 \times \text{PMI}^2 - 1,19 \times \text{PMI} + 1,19$	0,1 – 0,5
	$2,38 \times \text{PMI}^2 - 2,38 \times \text{PMI}^3 + 1,49$	0,5 – 0,9
324	$16,6 \times \text{PMI}^4 - 33,3 \times \text{PMI}^3 + 25,3 \times \text{PMI}^2 - 8,6 \times \text{PMI} + 1,95$	0,1 – 0,3
	$1,11 \times \text{PMI}^2 - 11,1 \times \text{PMI} + 1,11$	0,3 – 0,5
344	$-0,55 \times \text{PMI}^2 + 0,555 \times \text{PMI} + 0,69$	0,5 – 0,9

Sumber: *Simpang tak bersinyal MKJI 1997*

2.2.9 Kapasitas

Manual Kapasitas Jalan Indonesia (MKJI 1997) mendefinisikan bahwa kapasitas adalah arus lalu lintas maksimum yang dapat dipertahankan pada suatu bagian jalan dalam kondisi tertentu dinyatakan dalam kendaraan/jam atau smp/jam.

$$C = C_0 \times F_w \times F_m \times F_{CS} \times F_{RSU} \times F_{LT} \times F_{RT} \times F_{MI} \dots \dots \dots (2.10)$$

Keterangan:

C = nilai kapasitas

C₀ = nilai kapasitas dasar

F_w = faktor koreksi lebar pendekatan

F_m = faktor koreksi median pada jalan major

F_{CS} = faktor koreksi ukuran kota

F_{RSU} = faktor koreksi tipe lingkungan jalan pada gangguan simpang

F_{LT} = faktor koreksi belok kiri

FRT = faktor koreksi belok kanan
 FMI = faktor koreksi arus jalan minor

2.3 Perilaku Lalulintas

2.3.1 Derajat Kejenuhan

Derajat kejenuhan merupakan rasio arus lalulintas aktual terhadap Kapasitas. Jika kejenuhan suatu simpang maka derajat kejenuhan ini merupakan perbandingan dari total arus lalulintas (smp/jam). Perhitungan derajat kejenuhan menggunakan rumus:

$$DS = QTOT / C \dots\dots\dots (2.11)$$

Keterangan:

- DS = derajat kejenuhan
- C = kapasitas (smp/jam)
- QTOT = jumlah arus total pada simpang (smp/jam)

2.4 Tundaan

Tundaan persimpangan merupakan total waktu hambatan rata-rata kendaraan sewaktu melewati simpang. Hambatan tersebut terjadi apabila kendaraan berhenti karena antrian pada simpang sampai kendaraan itu keluar dari simpang karena kapasitas simpang yang melebihi batas.

a) Tundaan lalulintas simpang (DT1)

Tundaan lalulintas simpang merupakan tundaan lalulintas rata-rata untuk semua kendaraan bermotor yang masuk simpang. DT1 ditentukan dari kurva empiris antara DT1 dan DS1 dengan rumus:

$$DT = 2 + 8,2078*DS - (1-DS)* 2 \text{ untuk } DS \leq 0,6 \dots\dots\dots (2.12)$$

$$DT = 1,0504/(0,2742 - 0,2042 *DS) - (1-DS) * 2 \text{ untuk } DS \geq 0,6 \dots\dots\dots (2.13)$$

b) Tundaan lalulintas jalan utama (DTMA)

Tundaan lalulintas jalan utama merupakan tundaan lalulintas rata-rata

semua kendaraan yang bermotor masuk persimpangan dari jalan utama.
 Dengan rumus:

$$DTMA = 1,8 + 5,8234 \cdot DS - (1-DS) \cdot 1,8 \text{ untuk } DS \leq 0,6 \dots \dots \dots (2.14)$$

$$DTMA = 1,05034 / (0,346 - 0,24 \cdot DS) - (1-DS) \cdot 1,8 \text{ untuk } DS \geq 0,6 \dots \dots \dots (2.15)$$

c) Tundaan lalulintas jalan minor (DTMI)

Tundaan lalulintas jalan minor rata-rata berdasarkan tundaan simpang rata-rata dan tundaan jalan utamarata-rata, dengan rumus:

$$DTMI = (QTOT \cdot DT1) - (QMA \cdot DTMA) / QMI \dots \dots \dots (2.16)$$

d) Tundaan geometrik simpang (DG)

Tundaan geometrik simpang merupakan tundaan dari geometrik rata-rata seluruh kendaraan bermotor yang masuk simpang.

Untuk $DS < 1,0$(2.17)

$$DS = (1-DS) \cdot (PT \cdot 6 + (1-PT) \cdot 3) + DS \cdot 4 \dots \dots \dots (2.18)$$

Untuk $DS \geq 1,0$:

$$DG = 4 \dots \dots \dots (2.19)$$

Keterangan:

DG = tundaan geometrik simpang

DS = derajat kejenuhan

PT = rasio belok total

e) Tundaan simpang (D)

Tundaan simpang memiliki perhitungan rumus sebaga berikut:

$$D = DG + DT1 \text{ (det/smp)} \dots \dots \dots (2.20)$$

Keterangan:

DG = tundaan geometrik simpang

DT1 = tundaan lalulintas simpang

2.5 Peluang Antrian

Batas nilai peluang antrian QP% ditentukan dari hubungan empiris antara peluang antrian QP% dan derajat kejenuhan DS. Peluang antrian dengan batas

atas dan batas bawah yang dapat diperoleh dengan menggunakan rumus sebagai berikut:

$$\text{Batasbawah QP \%} = 9,02 \cdot DS + 20,66 \cdot DS^2 + 10,49 \cdot DS^3 \dots \dots \dots (2.21)$$

$$\text{Batasatas QP \%} = 47,71 \cdot DS - 24,68 \cdot DS^2 - 56,47 \cdot DS^3 \dots \dots \dots (2.22)$$

2.6 Perhitungan Simpang Bersinyal

2.6.1 Kondisi Geometrik Pengaturan LaluLintas dan Kondisi Lingkungan

Perhitungan dilakukan dengan terpisah pada setiap pendekat, lengan simpang dapat terdiri dari satu pendekat maka dipisahkan menjadi dua ataupun lebih subpendekat. Hal tersebut terjadi apabila gerakan belok kanan atau belok kiri mendapat sinyal hijau pada fase yang berlainan dengan lalulintas yang lurus atau apabila dipisahkan secara fisik dengan pulau-pulau lalulintas dalam pendekat.

Untuk kondisi lingkungan terdapat tiga tipe, yaitu tipe komersial, pemukiman dan akses terbatas. Masing-masing pendekat atau sub pendekat lebar efektif (W_e) ditetapkan dengan mempertimbangkan denah dari bagian masuk dan keluar suatu simpang dan distribusi dari gerakan-gerakan membelok.

Data-data yang akan digunakan untuk mengisi formulir dalam perhitungan yang sesuai dengan perintah yang ada pada masing-masing kolom yang tersedia yaitu:

- a) Ukuran kota

Memasukkan data hasil jumlah penduduk perkotaan.

- b) Fase dan Waktu Sinyal

Memasukkan waktu hijau (g) dan waktu antar hijau (IG) yang ada pada setiap kotak dan memasukkan waktu siklus dan waktu hilang total.

$$(LTI = \sum IG) \text{ untuk kasus yang telah ditinjau (jika ada) } \dots \dots \dots (2.23)$$

c) Belok Kiri Langsung

Menunjukkan diagram-diagram fase dalam pendekatan-pendekat mana gerakan belok kiri langsung diizinkan (gerakan membelok tersebut dapat dilakukan dalam semua fase tanpa memperhatikan sinyal).

d) Denah

- 1) Lebar pendekat (ketelitian sampai persepuluh meter terdekat) dari bagian pendekat yang diperkeras, tempat masuk dan keluar.
- 2) Panjang lajur dengan panjang terbatas.
- 3) Gambar suatu panah yang menunjukkan arah.

e) Kode Pendekat

Dengan menggunakan selatan, utara, timur, barat atau tanda lainnya yang jelas untuk menamakan pendekat-pendekat tersebut dengan memperhatikan bahwa lengan simpang dapat dibagi oleh pulau lalu lintas dua pendekat atau lebih.

f) Tipe Lingkungan Jalan

1) Komersial (COM)

Tata guna lahan komersial : restoran,kantor,dengan jalan masuk langsung bagi pejalan kaki dankendaraan

2) Pemukiman (RES)

Tata guna lahan tempat tinggal dengan jalan masuk langsung bagi pejalan kaki dan kendaraan

3) Akses Terbatas (RA)

Jalan masuk terbatas atau tidak ada samasekali

g) Tingkat Hambatan Samping

1) Tinggi

Besar arus berangkat pada tempat masuk dan keluar berkurang karena aktivitas disamping jalan pada pendekat misalnya banyak kendaraan berhenti atau parkir dipinggir jalan,pejalan kaki berjalan tidak di trotoar atau melintas mendekati akses keluar masuk halaman simpang

2) Rendah

Besar arus berangkat pada tempat masuk dan keluar tidak berkurang oleh

hambatan samping dari jenis-jenis yang disebut diatas.

h) Median

Memasukkan data ukuran median pada pendekat yang memiliki median

i) Jarak ke Kendaraan Parkir

Memasukkan jarak normal antara garis henti dan kendaraan pertama yang diparkir disebelah hulu pendekat untuk kondisi yang dipelajari

j) Lebar Pendekat

Memasukkan data sketsa dan lebar bagian yang diperkeras dari masing-masing pendekat, belok kiri langsung, tempat masuk dan tempat keluar (bagian tersempit setelah melewati jalan melintang).

2.6.2 Kondisi Arus Lalu Lintas

Data arus lalu lintas digunakan jika memiliki data yang rinci dengan distribusi jenis kendaraan gerakan belok yang tersedia. Kemudian masukkan data arus lalu lintas untuk masing-masing jenis kendaraan bermotor dalam kend/jam dan arus kendaraan tak bermotor.

Data arus lalu lintas diperlukan untuk menganalisa periode-periode lainnya misal pada jam puncak pagi, siang dan sore, semua gerakan dan lalu lintas termasuk belok kiri langsung (LTOR). Tetapi gerakan LTOR tidak dimasukkan dalam perhitungan waktu sinyal. Menghitung arus lalu lintas dalam smp/jam bagi masing-masing jenis kendaraan untuk kondisi terlindung atau terlawan (tergantung pada fase sinyal dan gerakan belok kanan yang diizinkan) dengan menggunakan empiris pada tabel 2.10.

Tabel 2. 10 Kondisi Arus Lalu Lintas

Jenis Kendaraan	Emp untuk tipe pendekat	
	Terlindung	Terlawan
Kendaraan Ringan (LV)	1,0	1,0
Kendaraan Berat (HV)	1,3	1,3
Sepeda Motor (MC)	0,2	0,4

Sumber : *Simpang tak bersinyal MKJI 1997*

Untuk menghitung arus lalu lintas total Q_{mv} dalam satuan kend/jam

dan smp/jam pada setiap pendekat untuk kondisi-kondisi arus berangkat terlindung atau arus berangkat terlawan yang sesuai akan tergantung pada fase sinyal dan gerakan belok kanan yang diizinkan. Kemudian untuk menghitung masing-masing pendekat rasio kendaraan belok kiri PLT dan rasio belok kanan PRT. Dan untuk menghitung rasio kendaraan tak bermotor dengan membagi arus kendaraan tak bermotor QUM kend/jam dengan arus kendaraan bermotor QMVkend/jam.

$$PUM = QUM / QMV \dots\dots\dots (2.24)$$

2.7 Penggunaan Sinyal

2.7.1 Penentuan Fase Sinyal

Perhitungan digunakan untuk merencanakan fase sinyal yang lain, maka rencana fase sinyal harus dipilih sebagai alternatif permulaan untuk keperluan evaluasi. Pengaturan dua fase sinyal dicoba untuk kejadian dasar, karena seiring terjadinya akan menghasilkan kapasitas yang lebih besar dan tundaan rata-rata lebih rendah dari pada tipe fase sinyal lain dengan pengaturan fase yang biasa dengan pengaturan fase konvensional.

2.7.2 Waktu Antar Hijau dan Waktu Hilang

Pada analisa operasional dan perencanaan yang dilakukan untuk keperluan perancangan waktu antar hijau berikut (kuning + merah semua) dapat dianggap sebagai nilai normal lihat tabel 2.11.

Tabel 2. 11 Nilai Normal Waktu Antar-Hijau

Ukuran Simpang	Lebar jalan rata - rata	Nilai normal waktu antar hijau
Kecil	6 – 9 m	4 det/fase
Sedang	10 – 14 m	5 det/fase
Besar	≥ 15 m	≥ 6 det/fase

Sumber: *Simpang tak bersinyal MKJI 1997*

Titik konflik kritis pada masing-masing fase merupakan titik yang

menghasilkan waktu merah semua:

$$\text{Merah Semua} = \left[\frac{(LEV+IEV)}{VEV} - \frac{LAV}{VAV} \right] \max \dots\dots\dots (2.25)$$

Keterangan:

LEV,LAV = jarak dari garis henti ke titik konflik masing-masing untuk kendaraan yang berangkat dan datang (m)

IEV = panjang kendaraan yang berangkat (m)

VEV,VAV = kecepatan masing-masing untuk kendaraan yang berangkat dan datang (m/det)

Jika periode merah semua untuk masing-masing akhir fase sudah mendapatkan hasil dan telah ditetapkan, waktu hilang (LTI) untuk simpang dapat dihitung sebagai jumlah dari waktu antarhijau:

$$LTI = \sum (\text{Merah Semua} + \text{Kuning}) = \sum IG \dots\dots\dots (2.26)$$

Panjang waktu kuning pada sinyal lalu lintas perkotaan Indonesia biasanya 3,0 detik.

2.7.3 Panjang Antrian

Menghitung jumlah antrian smp yang tersisa dari fase hijau sebelumnya:

$$NQ_1 = 0,25 \times C \times \left[(DS - 1) + \sqrt{(DS - 1)^2 + \frac{8 \times (DS - 0,5)}{c}} \right] \dots\dots\dots (2.27)$$

$$\text{Untuk } DS < 0,5; NQ_1 = 0 \dots\dots\dots (2.28)$$

Keterangan:

NQ_1 = jumlah smp yang tersisa dari fase hijau sebelumnya

DS = derajat kejenuhan

GR = rasio hijau

C = kapasitas $\gg (S \times GR)$

Menghitung jumlah antrian smp yang datang selama fase merah (NQ_2)

$$NQ_2 = c \times \frac{1 - GR}{1 - GR \times DS} \times \frac{Q}{3600} \dots\dots\dots (2.29)$$

Keterangan:

NQ_2 = jumlah smp yang datang selama fase merah

- DS = derajat kejenuhan
- GR = rasio hijau
- c = waktu siklus
- Qmasuk = arus lalu lintas pada tempat masuk diluar LTOR (smp/jam)

Jumlah kendaraan antri dan masukan dengan rumus:

$$NQ = NQ_1 + NQ_2 \dots \dots \dots (2.30)$$

2.8 Penentuan Waktu Sinyal

2.8.1 Tipe Pendekat

Apabila suatu pendekat mempunyai nyala hijau pada dua fase dalam keadaan tersebut tipe lajur dapat berbeda untuk masing-masing fase, satu baris sebaiknya digunakan untuk mencatat data masing-masing fase dan satu baris tambahan untuk memasukkan hasil gabungan untuk pendekat tersebut. Menentukan tipe pendekat dari setiap pendekat terlindung(P) atau terlawan(O).

2.8.2 Arus Jenuh Dasar

Menentukan arus jenuh dasar (So) dengan rumus:

$$So = 600 \times We (\text{smp/jam hijau}) \dots \dots \dots (2.31)$$

2.8.3 Faktor Penyesuaian

- k) Faktor penyesuaian hambatan samping
 - Ditentukan dari tabel 2.6 diatas sebagai fungsi dari jenis lingkungan jalan, tingkat hambatan samping dan rasio tak bermotor.
- l) Faktor penyesuaian tipe lingkungan jalan, hambatan samping dan kendaraan tak bermotor
 - Ditentukan dari tabel 2.8 diatas.
- m) Faktor penyesuaian parkir
 - Rumus perhitungan berikut:
 - $F_p = [L_p/3 - (WA - 2) \times (L_p/3 - g) / WA] / g \dots \dots \dots (2.32)$
 - Keterangan:

Lp = Jarak antara garis henti dan kendaraan yang diparkir pertama (m) atau panjang dari lajur pendek

WA = Lebar pendekat(m)

G = Waktu hijau pada pendekat (nilai normal 26 det)

n) Faktor penyesuaian belok kanan (FRT)

Faktor penyesuaian belok kanan ditetapkan sebagai fungsi dari rasio kendaraan belok kanan. Dengan rumus sebagai berikut:

$$FRT = 1,0 + PRT \times 0,26 \dots \dots \dots (2.33)$$

o) Faktor penyesuaian belok kiri (FLT)

Ditentukan sebagai fungsi dari rasio belok kiri. Digunakan untuk pendekat tipe P tanpa LTOR, lebar efektif ditentukan oleh lebar masuk. Dengan rumus:

$$FLT = 1,0 - PRT \times 0,16 \dots \dots \dots (2.34)$$

p) Arus jenuh

Menghitung arus jenuh yang disesuaikan menggunakan rumus:

$$S = S_o \times F_c \times F_G \times F_P \times F_{RT} \times F_{LT} \text{ smp/jam hijau} \dots \dots \dots (2.35)$$

2.8.4 Rasio Arus atau Rasio Arus Jenuh

q) Menghitung rasio arus (FR) pada masing-masing pendekat dengan rumus:

$$FR = Q/S \dots \dots \dots (2.36)$$

r) Menghitung rasio arus simpang (IFR) sebagai nilai FR (kritis) dengan rumus:

$$IFR = E(FR_{crit}) \dots \dots \dots (2.37)$$

s) Menghitung rasio fase (PR) masing-masing fase sebagai rasio antara FRcrit dan IFR dengan rumus:

$$PR = FR_{crit}/IFR \dots \dots \dots (2.38)$$

2.8.5 Waktu Siklus dan Waktu Hijau

Menghitung waktu siklus sebelum penyesuaian (Cua) dihitung dengan rumus:

$$Cua = (1,5 \times LTI + 5) / (1 - IFR) \dots\dots\dots (2.39)$$

Keterangan:

Cua = Waktu siklus sebelum penyesuaian sinyal (det)

LTI = Waktu hilang total per siklus (det)

IFR = Rasio arus simpang $\sum(FR_{crit})$

2.8.6 Waktu Hijau

Menghitung waktu hijau (g) menggunakan rumus:

$$g_i = (Cua - LTI) \times P_{ri} \dots\dots\dots (2.40)$$

Keterangan:

g_i = Tampilan waktu hijau pada fase 1 (det)

cua = Waktu siklus sebelum penyesuaian (det)

LTI = Waktu hilang total per siklus

P_{ri} = Rasio fase $FR_{crit} / \sum(FR_{crit})$

2.8.7 Waktu Siklus yang Disesuaikan

Menghitung waktu siklus yang disesuaikan (c) berdasarkan pada waktu hijau yang diperoleh dan telat dibulatkan dan waktu hilang (LTI) dihitung dengan rumus:

$$c = \sum g + LTI \dots\dots\dots (2.41)$$

2.8.8 Kapasitas

Menghitung kapasitas masing-masing pendekat menggunakan rumus:

$$C = S \times g / c \dots\dots\dots (2.42)$$

Menghitung derajat kejenuhan pada masing-masing pendekat menggunakan rumus:

$$DS = Q/C \dots \dots \dots (2.43)$$

Menghitung rasio hijau menggunakan rumus:

$$GR = \text{Waktu hijau} / \text{Waktu siklus disesuaikan} \dots \dots \dots (2.44)$$

2.9 Kendaraan Terhenti

a) Menghitung angka henti dengan menggunakan rumus:

$$NS = 0,9 \times \frac{NQ}{Q \times c} \times 3600 \dots \dots \dots (2.45)$$

Keterangan:

c = Waktu siklus (det)

Q = Arus lalu lintas (smp/jam)

b) Menghitung jumlah kendaraan terhenti pada pendekatan menggunakan rumus:

$$Nsv = Q \times NS \dots \dots \dots (2.46)$$

c) Menghitung angka henti seluruh simpang dengan rumus:

$$NSTOT = \frac{\sum NSV}{QTOT} \dots \dots \dots (2.47)$$

2.9.1 Tundaan

a) Menghitung tundaan lalu lintas rata-rata pada setiap pendekatan (DT) menggunakan rumus:

$$DT = c \times A + \frac{NQ \times 3600}{c} \dots \dots \dots (2.48)$$

Keterangan:

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

c = Waktu siklus yang disesuaikan (det)

$$A = \frac{0,5 \times (0,5 \times (1 - GR))^2}{(1) - GR \times DS} \dots \dots \dots (2.49)$$

GR = Rasio hijau (g/c)

DS = Derajat kejenuhan

NQ_1 = Jumlah smp yang tersisa dari fase hijau sebelumnya
 C = Kapasitas (smp/jam)

b) Menghitung tundaan geometrik rata-rata pada masing-masing pendekat (DG) menggunakan rumus:

$$DG_j = (1 - P_{sv}) \times P_T \times 6 + (P_{sv} \times 4) \dots \dots \dots (2.50)$$

c) Menghitung tundaan rata-rata seluruh simpang (DI) menggunakan rumus:

$$DI = \frac{\sum (Q \times D)}{Q_{TOT}} \dots \dots \dots (2.51)$$

2.10 Penelitian Terdahulu dan Perbedaan

Penelitian dilakukan oleh Theresia Kezia Senduk (2018) dengan judul “PENGARUH HAMBATAN SAMPING TERHADAP KINERJA RUAS JALAN RAYA KOTATOMOHON”. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui penyebab utama terjadinya kemacetan karena aktivitas disisi jalan dengan menggunakan panduan dari Manual Kapasitas Jalan Indonesia (MKJI1997) dengan bantuan *Microsoft Excel*. Dari penelitian ini mendapat kapasitas 2320,812smp/jam, volume jam puncak berkisar antara 728smp/jam–1070,1smp/jam, kecepatan terendah berkisar antara 8,125km/jam–11,412km/jam dan tingkat pelayanan jalan C pada jam puncak dan kecepatan arus bebas 32,643km/jam.

Penelitian dilakukan oleh Koilal Alokabel (2018) dengan judul “ANALISA KINERJA PERSIMPANGAN TAK BERSINYAL TIPET PADA PERTEMUAN RUAS JALAN TIMOR RAYA DAN JALAN SURATIM DIKELURAHAN OESAPA KECAMATAN KELAPA LIMA KOTA KUPANG PROVINSI NUSA TENGGARATIMUR”. Mendapatkan nilai kapasitas 1964smp/jam, derajat kejenuhan 1,16, tundaan total rata-rata 28,46det/smp, tundaan rata-rata jalan utama 17,61det/smp, tundaan rata-rata jalan minor 66,44det/smp, tundaan geometrik simpang sebesar 3, tundaan simpang 31,46det/smp dan peluang antrian 54,62–110,28%.

Penelitian dilakukan oleh Rocky Huliselan dan Muhammad Rusmin (2019) dari Universitas Muhammadiyah Sorong dengan judul “ANALISA

KAPASITAS DAN KINERJA PERSIMPANGAN TAK BERSINYAL R.A.KARTINI". Menggunakan Metode Manual Kapasitas Jalan Indonesia(MKJI1997) dan program excel 2014 untuk mengolah data lalulintas, dari hasil analisa besar kapasitas pada simpang tak bersinyal R.A Kartini pada periode jam puncak pagi (07.00-08.00) sebesar 3,310.89smp/jam, pada puncak siang (13.00-14.00) sebesar 3,190.65smp/jam dan pada puncak sore (17.00-18.00) sebesar 3,333.62smp/jam. Tingkat kinerja simpang tak bersinyal pada jalan R.A. Kartini pada saat jam sibuk dalam keadaan tidak jenuh karena mempunyai nilai derajat kejenuhan 0,3–0,46 kurang dari yang disyaratkan MKJI 1997 yaitu 0,75.

Penelitian dilakukan oleh Aditiya Yayang Nurkafi (2019) dengan judul "ANALISA KINERJA SIMPANG TAK BERSINYAL JALAN SIMPANG BRANGGAHAN NGADILUWIH KABUPATEN KEDIRI". Berdasarkan hasil penelitian dan pembahasan kinerja simpang Branggahan Ngadiluwih memiliki nilai peluang antrian simpang tersebut antara 52,287%-105,135%, nilai tundaan pada lalulintas rata-rata melebihi 15det/smp, nilai derajat kejenuhan melebihi standard yaitu 1,136. Untuk menurunkan tundaan pada simpang yang melebihi nilai maksimum (>15 det/smp) besarnya perlu dipasang larangan parkir dan berhenti dipendekat yang tidak tersedia bahu untuk parkir serta perlu pemasangan lampu lalulintas(*Traffic Light*).

Penelitian dilakukan oleh Rezi Chairunnisa (2021) dengan judul "KAJIAN KINERJA PERSIMPANGAN TIDAK BERSINYAL DI SIMPANG BY PASS GADUT, KABUPATEN AGUNG". Untuk penelitian ini menggunakan metode Manual Kapasitas Jalan Indonesia (MKJI1997) dengan hasil arus lalulintas terbesar terjadi pada hari Minggu, 13 Juni 2021 dengan kapasitas (C) 3.616smp/jam, dari hasil pengolahan data survey LHR dengan LT=608, RT=268, ST=92 maka dapat ditotalkan kendaraan ini sebanyak 968kendaraan.