

BAB II

LANDASAN TEORI

2.1 Pengertian Persimpangan

Persimpangan merupakan daerah pertemuan dua atau lebih ruas jalan, bergabung, berpotongan atau bersilang. Persimpangan juga dapat disebut sebagai pertemuan antara dua jalan atau lebih, baik sebidang maupun tidak sebidang atau titik jaringan jalan dimana jalan-jalan bertemu dan lintasan jalan saling berpotongan (Morlok, 1991).

Persimpangan dapat dibagi atas dua jenis, yaitu:

1. Persimpangan sebidang (*At Grade Intersection*)

Merupakan pertemuan dua atau lebih jalan raya dalam satu bidang yang mempunyai elevasi yang sama. Desain persimpangan ini berbentuk huruf T, huruf Y, persimpangan empat kaki dan persimpangan dengan banyak kaki.

2. Persimpangan tak sebidang (*Grade Separate Intersection*)

Merupakan suatu persimpangan dimana jalan yang satu dengan jalan yang lainnya tidak saling bertemu dalam satu bidang dan mempunyai beda tinggi (*elevasi*) antara keduanya.

Masalah-masalah yang umumnya timbul pada persimpangan adalah:

1. Volume dan kapasitas (secara langsung mempengaruhi hambatan).
2. Desain geometrik dan kebebasan pandang.
3. Perilaku lalu lintas dan panjang antrian.
4. Kecepatan.
5. Pengaturan lampu lalu lintas.
6. Kecelakaan dan keselamatan.
7. Parkir.

2.2 Pengaturan Persimpangan

Persimpangan adalah faktor utama dalam menentukan kapasitas jaringan jalan terutama di perkotaan. Idealnya, persimpangan diatur secara berhirarki berdasarkan volume lalu lintas yang melewatinya. Hirarki pengaturan adalah tanpa pengaturan, prioritas, bundaran, lampu lalu lintas dan persimpangan tidak sebidang untuk volume tertinggi atau persilangan antara jalan utama dengan rel kereta api (Dirjen Perhubungan Darat, 1998). Penjelasan hirarki pengendalian persimpangan yang dapat berdasarkan volume lalu lintas adalah:

1. Apabila pada arus minor kendaraan/hari kurang dari 9.000 kend/hari dan arus mayor kurang dari 45.000 kend/hari maka digunakan persimpangan prioritas.
2. Apabila pada arus minor kendaraan/hari lebih dari 9.000kend/hari dan kurang dari 12.000 kend/hari sedangkan di arus mayor kurang dari 40.000 kend/hari maka digunakan pengaturan lalu lintas dengan bundaran.
3. Apabila pada arus minor kendaraan/hari lebih dari 12.000 kend/hari, maka digunakan pengaturan menggunakan persimpangan tidak sebidang.

Makin tinggi tingkat kompleksitas suatu simpang, makin tinggi pula kebutuhannya. Pengaturan persimpangan dilihat dari segi pandang untuk kontrol kendaraan dapat dibedakan menjadi dua, yaitu:

1. Persimpangan tanpa sinyal, dimana pengemudi kendaraan sendiri yang harus memutuskan apakah aman atau tidak memasuki persimpangan itu. Pengaturan simpang tanpa sinyal dapat dibedakan sebagai berikut :

a. Aturan Prioritas

Di Indonesia Pergerakan arus lalu lintas pada simpang yang saling berpotongan dari ruas-ruas jalan yang mempunyai kelas yang sama, diprioritaskan bagi kendaraan yang datang dari sebelah kiri, walaupun kenyataannya ketentuan ini tidak berjalan.

b. Rambu dan Marka

1. Rambu Yield digunakan untuk melindungi arus lalu lintas dari salah satu ruas jalan pada ruas jalan yang saling berpotongan tanpa arus berhenti sama sekali.
2. Rambu Berhenti digunakan bila pengendara pada kaki simpang harus berhenti secara penuh sebelum memasuki simpang dan digunakan pada pertemuan antara jalan minor dan jalan mayor.
3. Kanalisasi merupakan daerah perkerasan yang lebih luas, untuk melayani gerakan membelok pada kanal yang banyak, sementara badan jalan diberi tanda panah dan garis untuk membantu manuver kendaraan, biasanya diperlukan pula pemisah fisik dengan membangun pulau lalu lintas dan disediakan ruang cadangan untuk pengontrolan sudut pendekatan dan kecepatan kendaraan dengan mengarahkan arus sehingga memudahkan pengemudi dan memberikan kemudahan dalam pengoperasian kendaraan.

4. Bundaran dianggap sebagai kasus istimewa dari kanalisasi yang pulau ditengahnya dapat bertindak sebagai pengontrol pembagi dan pengarah bagi sistem lalu lintas satu arah, dengan tujuan melayani gerakan menerus, namun hal ini tergantung dari kapasitas dan luas area yang dibutuhkan.

2. Persimpangan dengan sinyal

Persimpangan ini diatur sesuai sistem dengan tiga aspek lalu lintas (merah, kuning, hijau). Tujuan dari pemisah waktu pergerakan ini adalah untuk menghindarkan terjadinya arah pergerakan yang saling berpotongan atau melalui titik konflik pada saat bersamaan.

Yang dijadikan kriteria bahwa suatu persimpangan sudah harus dipasang alat pemberi isyarat lalu lintas adalah (Dirjen Perhubungan Darat, 1998):

1. Arus minimal lalu lintas yang menggunakan persimpangan rata-rata di atas 750 kendaraan/hari selama 8 jam secara kontinu.
2. Waktu tunggu atau hambatan rata-rata kendaraan di persimpangan telah melampaui 30 detik.
3. Persimpangan digunakan oleh rata-rata lebih dari 175 pejalan kaki/jam selama 8 jam secara kontinu.
4. Sering terjadi kecelakaan pada persimpangan yang bersangkutan.
5. Pada daerah yang bersangkutan dipasang suatu sistem pengendalian lalu lintas terpadu (*Area Traffic Control/ATC*), sehingga setiap persimpangan yang termasuk didalam daerah yang bersangkutan harus dikendalikan dengan alat pemberi isyarat lalu lintas.
6. Kombinasi dari sebab-sebab tersebut diatas

Syarat-syarat yang disebut diatas tidak baku dan dapat disesuaikan dengan situasi dan kondisi setempat.

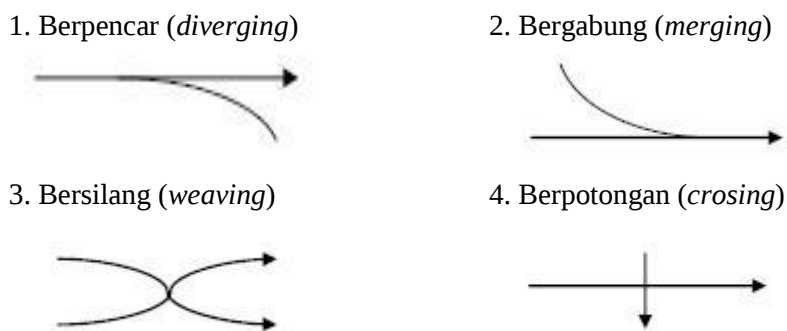
Persimpangan bersinyal biasanya digunakan dengan beberapa alasan tertentu, dilihat dari segi keuntungan, antara lain:

1. Untuk menghindari kemacetan simpang akibat adanya konflik lalu lintas, sehingga terjamin bahwa suatu kapasitas tertentu dapat dipertahankan, bahan selama kondisi jam puncak.
2. Untuk memberikan kesempatan pada kendaraan atau pejalan kaki dari jalan minor untuk memotong jalan utama.
3. Untuk mengurangi kecelakaan lalu lintas akibat tabrakan antara kendaraan-kendaraan dari arah yang bertentangan.

Namun penggunaan sinyal pada persimpangan tidak hanya memberikan keuntungan, namun terdapat juga kerugiannya, antara lain:

1. Akibat dari penggunaan fase, maka pada umumnya kapasitas keseluruhan dari persimpangan akan berkurang.
2. Semakin banyak fase yang digunakan maka kapasitas simpang akan semakin berkurang.
3. Diperlukan biaya yang lebih besar untuk pembuatan simpang bersinyal dibandingkan dengan simpang tak bersinyal.

Tujuan utama perencanaan simpang adalah mengurangi konflik antara kendaraan bermotor serta tidak bermotor (becak, sepeda) dan penyediaan fasilitas yang memberi kemudahan, kenyamanan, dan keselamatan terhadap pemakai jalan yang melalui persimpangan. Pada persimpangan umumnya terdapat empat macam pola dasar pergerakan lalu lintas kendaraan yang berpotensi menimbulkan konflik, seperti dilihat pada gambar dibawah ini:

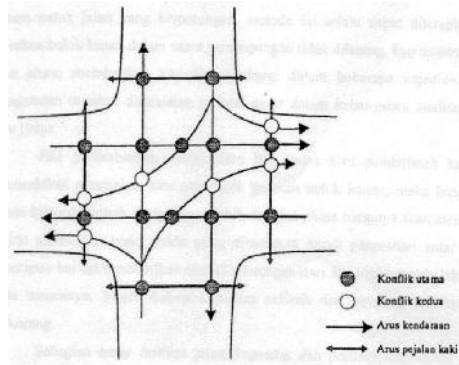


Gambar 2.1 Jenis-jenis pergerakan
Sumber : Manual kapasitas Jalan Indonesia 1997

2.3 Karakteristik Simpang Bersinyal

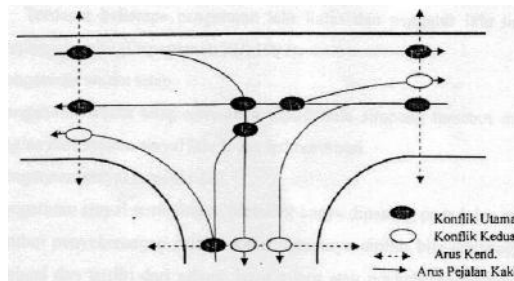
Karakteristik simpang bersinyal diterapkan dengan maksud sebagai berikut (Departemen PU, 1997):

1. Untuk memisahkan lintasan dari gerakan – gerakan lintasan yang saling berpotongan dalam kondisi dan waktu yang sama. Hal ini adalah keperluan mutlak bagi gerakan – gerakan lalu lintas yang datang dari jalan – jalan yang saling berpotongan (konflik – konflik utama).
2. Memisahkan gerakan membelok dari lalu lintas lurus melawan, atau untuk memisahkan gerakan lalu lintas membelok dari pejalan kaki yang menyebrang jalan (konflik – konflik kedua).



Gambar 2.2 Konflik – konflik utama dan kedua pada simpang bersinyal dengan empat lengan
Sumber : Departemen PU 1997

Sedangkan untuk konflik – konflik utama dan kedua pada simpang dengan tiga lengan seperti terlihat pada gambar di bawah ini



Gambar 2.3 Konflik utama dan kedua pada simpang dengan tiga
Sumber : Departemen PU 1997

Jika hanya konflik – konflik utama yang dipisahkan maka kemungkinan untuk mengatur sinyal lampu lalu lintas dengan dua phase. Masing – masing sebuah phase untuk jalan yang berpotongan, metode ini selalu dapat diterapkan jika gerak belok kanan dalam suatu persimpangan tidak dilarang. Karena pengaturan dua phase memberikan kapasitas tertinggi dalam beberapa kejadian, maka pengaturan tersebut disarankan sebagai dasar dalam kebanyakan analisa lampu lalu lintas.

Jika pertimbangan keselamatan lalu lintas atau pembatasan kapasitas memerlukan pemisahan satu atau lebih gerakan belok kanan, maka banyaknya phase harus ditambah. Penggunaan lebih dari dua phase biasanya akan menambah waktu siklus dan rasio waktu yang disediakan untuk pergantian antar phase. Walaupun hal ini memberikan suatu keuntungan dari sisi keselamatan lalu lintas pada umumnya, berarti bahwa setiap kapasitas seluruh dari simpang tersebut akan berkurang.

Sebagian besar fasilitas jalan, kapasitas dan perilaku lalu lintas adalah fungsi dari keadaan geometrik dan tuntutan lalu lintas. Dengan menggunakan signal, perancang dapat mendistribusikan kapasitas jalan kepada berbagai pendekat melalui alokasi waktu

hijau pada tiap pendekat. Sehingga untuk menghitung kapasitas dan perilaku lalu lintas, pertama – tama perlu ditentukan phase dan waktu signal yang paling sesuai pada kondisi yang ditinjau.

2.4 Arus Lalulintas

Arus lalulintas (Q) untuk setiap gerakan (belok kiri Q_{LT} , lurus Q_{ST} dan belok kanan Q_{RT}) dikonversi dari kendaraan per-jam menjadi satuan mobil penumpang(smp) per-jam dengan menggunakan ekivalen kendaraan penumpang (emp) untuk masing-masing pendekat terlindung dan terlawan

Tabel 2.1 Nilai EMP

Jenis Kendaraan	Emp untuk tipe pendekat	
	Terlindung	Terlawan
LV	1,0	1,0
HV	1,3	1,3
MC	0,2	0,4

Sumber: MKJI 1997

Jika distribusi gerakan membelok tidak diketahui/diperkirakan, maka dapat diasumsikan 15% belok kanan dan 15% belok kiri dari arus pendekat total.

2.5 Pengaturan Lalu Lintas dan Alat Pengatur Lalu Lintas

Terdapat beberapa pengaturan lalu lintas dan pengatur lalu lintas pada persimpangan (Departemen PU, 1997):

1. Pengaturan waktu tetap

Pengaturan waktu tetap umumnya dipilih bila simpangan tersebut merupakan bagian dari sistem sinyal lalu lintas terkoordinasi.

2. Pengaturan sinyal semi aktuasi

Pengaturan sinyal semi aktuasi (detektor hanya dipasang pada jalan minor atau tombol penyeberangan pejalan kaki) umumnya dipilih bila simpangan tersebut tunggal dan terdiri dari sebuah jalan minor atau penyeberangan pejalan kaki dan berpotongan dengan sebuah jalan arteri utama. Pada keadaan ini sinyal selalu hijau untuk jalan utama bila tidak ada kebutuhan dari jalan minor.

3. Pengaturan total aktuasi

Pengaturan sinyal total aktuasi adalah moda pengaturan yang paling efisien untuk simpang tunggal diantara jalan-jalan dengan kepentingan dan kebutuhan lalu lintas yang sama atau hampir sama.

4. Pengaturan sinyal terkoordinasi

Pengaturan ini umumnya diperlukan bila jarak antara simpang bersinyal yang berdekatan adalah kecil (kurang dari 100 m).

5. Phase sinyal

Phase sinyal umumnya mempunyai dampak yang besar pada tingkat kinerja dan keselamatan lalu lintas sebuah simpang daripada jenis pengaturan. Waktu hilang sebuah simpang bertambah dan rasio hijau untuk setiap phase berkurang bila phase tambahan diberikan. Maka sinyal akan efisien bila dioperasikan hanya dengan dua phase, yaitu hanya waktu hijau untuk konflik utama dipisahkan. Tetapi dari sudut keselamatan lalu lintas, angka kecelakaan umumnya berkurang bila konflik utama antara lalu lintas belok kanan dipisahkan dengan lalu lintas terlawan, yaitu dengan phase sinyal terpisah untuk lalu lintas belok kanan.

6. Phase dan lajur terpisah untuk lalu lintas belok kanan

Phase dan lajur terpisah untuk lalu lintas belok kanan disarankan terutama pada keadaan-keadaan berikut:

- a. Pada jalan-jalan arteri dengan batas kecepatan diatas 50 km/jam, kecuali bila jumlah kendaraan belok kanan kecil sekali (kurang dari 50 kendaraan/jam per arah).
- b. Bila terdapat lebih dari satu lajur terpisah untuk lalu lintas belok satu kanan pada salah pendekat.
- c. Bila arus belok kanan selama jam puncak melebihi 200 kendaraan/jam dan keadaan berikut dijumpai:
 - 1) Jumlah lajur mencukupi kebutuhan kapasitas untuk lalu lintas lurus dan belok kiri sehingga lajur khusus tidak diperlukan.
 - 2) Jumlah kecelakaan untuk kendaraan belok kanan di atas normal dan usaha-usaha keselamatan lainnya yang tidak dapat diterapkan.

7. Belok kiri langsung

Belok kiri langsung sedapat mungkin digunakan bila ruang jalan yang tersedia mencukupi untuk belok kiri melewati antrian lalu lintas lurus dari pendekat yang sama dan dengan aman bersatu dengan arus lalu lintas lurus dari phase lainnya yang masuk ke lengan simpang yang sama.

2.6 Waktu Antar Hijau dan Waktu Hilang

2.6.1 Waktu Antar Hijau

Waktu antar hijau adalah periode kuning + merah semua antara dua fase sinyal yang berurutan (Departemen PU, 1997). Maksud dari periode antar hijau diantara dua fase yang berurutan adalah untuk:

1. Memperingati lalu lintas yang sedang bergerak bahwa fase telah berakhir.
2. Menjamin agar kendaraan yang terakhir pada fase hijau yang baru saja diakhiri memperoleh waktu yang cukup untuk keluar dari daerah konflik sebelum kendaraan pertama dari fase berikutnya memasuki daerah yang sama.

Untuk analisis operasional dan perencanaan, disarankan untuk membuat suatu perhitungan rinci waktu antara hijau untuk pengosongan dan waktu hilang. Pada analisis yang dilakukan bagi keperluan perancangan, waktu antar hijau, berikut dapat dianggap sebagai nilai normal. Nilai normal waktu antar hijau dapat dilihat pada Tabel 2.1 dibawah ini:

Tabel 2.2 Nilai normal waktu antar hijau

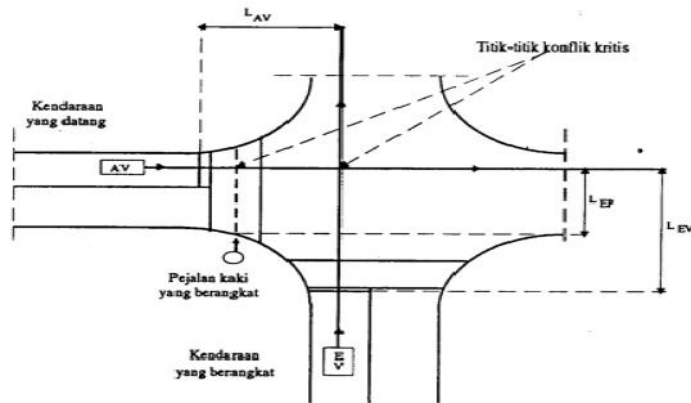
Ukuran Simpang	Lebar Jalan Rata - rata	Nilai Normal Waktu Antara Hijau
Kecil	6 – 9 m	4 detik/phase
Sedang	10 – 14 m	5 detik/phase
Besar	≥ 15 m	≥ 6 detik/phase

Sumber: MKJI, 1997

2.6.2 Waktu Hilang

Waktu hilang adalah jumlah semua periode antara hijau dalam siklus yang lengkap. Waktu hilang dapat juga diperoleh dari beda antara waktu siklus dengan jumlah waktu hijau dalam semua fase yang berurutan (Departemen PU, 1997). Prosedur untuk perhitungan perincian adalah sebagai berikut:

Waktu merah semua yang diperlukan untuk pengosongan pada akhir setiap fase harus memberi kesempatan bagi kendaraan terakhir (melewati garis henti pada akhir sinyal kuning), berangkat dari titik konflik sebelum kedatangan kendaraan yang datang pertama dari fase berikutnya pada titik yang sama. Jadi, merah semua merupakan fungsi dari kecepatan dan jarak dari kendaraan yang berangkat dan datang dari garis henti sampai titik konflik. Titik konflik dan jarak untuk keberangkatan dan kedatangan seperti Gambar 2.4 berikut:



Gambar 2.4 Titik konflik dan jarak untuk kedatangan dan keberangkatan
 Sumber : Manual kapasitas Jalan Indonesia 1997

Titik konflik kritis pada masing-masing phase (i) adalah titik yang menghasilkan waktu merah semua sebesar:

$$\text{MERAH SEMUA} = \frac{L_{EV} + l_{EV}}{V_{EV}} - \frac{L_{AV}}{V_{AV}} \dots\dots\dots(2.1)$$

Keterangan:

L_{EV} , L_{AV} = Jarak dari garis henti ke titik konflik masing-masing untuk kendaraan yang berangkat dan yang datang (m)

l_{EV} = Panjang kendaraan yang berangkat (m)

V_{EV} , V_{AV} = kecepatan masing-masing untuk kendaraan yang berangkat dan yang datang (m/det).

Nilai-nilai yang dipilih untuk V_{EV} , V_{AV} dan l_{EV} tergantung dari komposisi lalu lintas dan kondisi kecepatan pada lokasi. Nilai-nilai sementara berikut dapat dipilih dengan ketiadaan aturan di Indonesia akan hal ini.

Kecepatan kendaraan yang datang V_{AV} : 10 m/det (kendaraan bermotor)

Kecepatan kendaraan yang berangkat V_{EV} : 10 m/det (kendaraan bermotor)
 3 m/det (kendaraan tak bermotor)
 1,2 m/det (pejalan kaki)

Panjang kendaraan yang berangkat l_{EV} : 5 m (LV atau HV)
 2 m (MC atau UM)

Perhitungan dilakukan untuk semua gerak lalu lintas yang bersinyal (tidak termasuk belok kiri jalan terus). Apabila periode merah untuk semua masing-masing akhir phase yang diterapkan, waktu hilang (LTI) untuk simpang dapat dihitung sebagai jumlah dari waktu-waktu antar hijau:

$$LTI = \Sigma (\text{MERAH SEMUA} + \text{KUNING}) \text{ I} = \Sigma l_{gi} \dots\dots\dots(2.2)$$

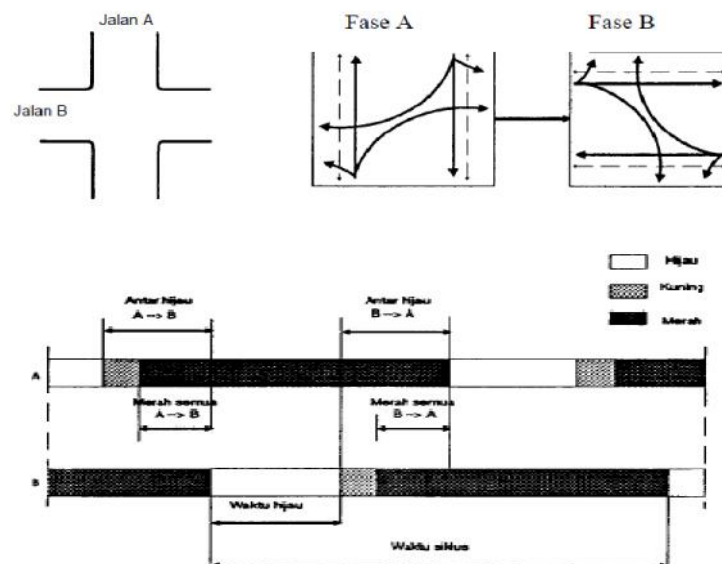
Panjang waktu kuning pada sinyal lalu lintas perkotaan di Indonesia biasanya adalah 3,0 detik (Departemen PU, 1997).

2.7 Phase Sinyal

Phase sinyal adalah bagian dari siklus sinyal dengan lampu hijau disediakan bagi kombinasi tertentu dari gerakan lalu lintas (Departemen PU, 1997). Untuk merencanakan phase sinyal dilakukan berbagai alternative antara lain :

1. Dua phase *existing*

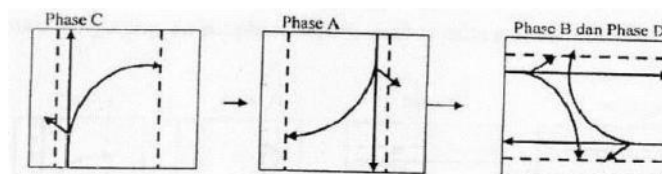
Adalah pengaturan lampu lalu lintas dengan menggunakan dua phase tanpa memisahkan arus terlawan. Pengaturan dua phase seperti terlihat pada gambar dibawah ini:



Gambar 2.5 Pengaturan dua phase
Sumber : Manual kapasitas Jalan Indonesia 1997

2. Tiga phase

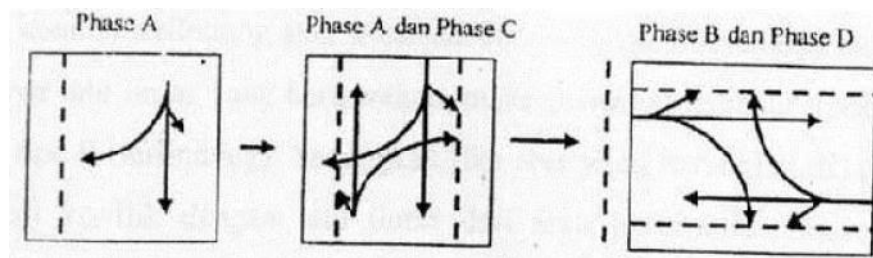
Adalah pengaturan lampu lalu lintas dengan tiga phase pergerakan lalu lintas. Pengaturan lampu lalu lintas dengan tiga phase seperti terlihat pada gambar 2.6 dibawah ini:



Gambar 2.6 Pengaturan tiga phase
Sumber : Manual kapasitas Jalan Indonesia 1997

3. Tiga phase dengan *early start*

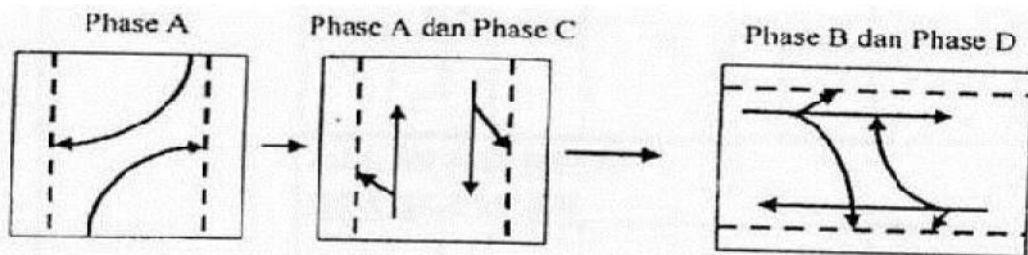
Adalah pengaturan lalu lintas dengan start dini pada salah satu pendekatan, agar menaikkan kapasitas untuk belok kanan dari arah ini. Seperti terlihat pada gambar 2.7 sebagai berikut :



Gambar 2.7 Pengaturan tiga phase dengan *early start*
Sumber : Manual kapasitas Jalan Indonesia 1997

4. Tiga phase dengan *early cut off*

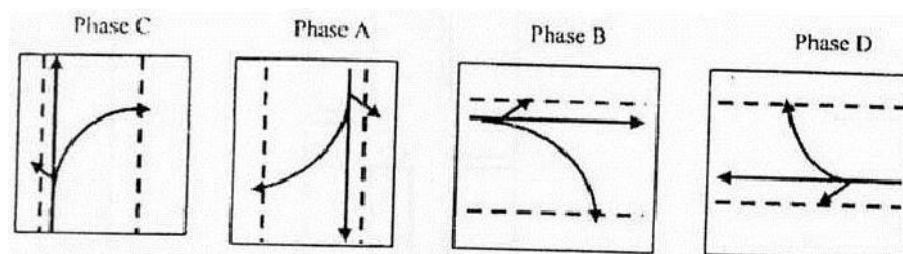
Adalah pengaturan lampu lalu lintas tiga phase dengan memutuskan lebih awal gerak belok kanan, untuk menaikkan kapasitas gerak lurus. Pengaturan tiga phase dengan *early cut off* seperti terlihat pada gambar dibawah ini:



Gambar 2.8 Pengaturan tiga phase dengan *early cut off*
Sumber : Manual kapasitas Jalan Indonesia 1997

5. Empat phase

Adalah pengaturan lampu lalu lintas dengan empat phase pergerakan lalu lintas. Pengaturan empat phase:



Gambar 2.9 Pengaturan dengan empat phase
Sumber : Manual kapasitas Jalan Indonesia 1997

2.8 Tipe Pendekat dan Lebar Pendekat Efektif

2.8.1 Tipe Pendekat

Pada suatu simpang dilihat kondisi yang berlaku, apakah simpang termasuk kondisi terlindung atau terlawan. Jika arus yang berangkat tanpa konflik dengan arus lalu lintas yang berlawanan, maka pendekat tersebut disebut sebagai pendekat tipe P (terlindung). Sedangkan jika arus yang berangkat dengan konflik atau terjadi konflik dengan lalu lintas dari arah berlawanan, maka pendekat tersebut disebut sebagai pendekat tipe O (terlawan). Untuk contoh pola – pola pendekat dan penetapan tipe pendekat seperti pada gambar berikut ini:

Tipe pendekat	Keterangan	Contoh pola-pola pendekat		
Terlindung P	Arus berangkat tanpa konflik dengan lalu lintas dari arah berlawanan	Jalan satu arah:	Jalan satu arah	Simpang T
		Jalan dua arah, gerakan belok kanan terbatas		
Terlawan O	Arus berangkat dengan konflik dengan lalu lintas dari arah berlawanan	Jalan dua arah, fase sinyal terpisah untuk masing-masing arah		
		Jalan dua arah, arus berangkat dari arah-arah berlawanan dalam fase yang sama. Semua belok kanan tidak terbatas		

Gambar 2.10 Penentuan tipe pendekat
Sumber : Manual kapasitas Jalan Indonesia 1997

2.8.2 Lebar Pendekat Efektif

Lebar pendekat efektif (W_e), ditentukan berdasarkan data dari lebar pendekat (W_a), lebar masuk (W_{masuk}) dan lebar keluar (W_{keluar}). Untuk semua pendekat, apabila pergerakan belok kiri langsung (*left turn on red*) diperkenankan dan tidak terpengaruh oleh pergerakan lain dalam pendekat (pergerakan belok kiri langsung dapat melewati antrian kendaraan dengan arah atau membelok kanan pada saat lampu merah), maka lebar efektif ditentukan berdasarkan nilai dari:

$$W_e = W_{masuk} \\ = W_a - W_{LTOR} \dots \dots \dots (2.3)$$

Jika $W_{EXIT} < W_e \times (1 - P_{RT})$, maka W_e sebaiknya diberi nilai baru sama dengan W_{EXIT} dan analisa selanjutnya untuk pendekat ini dilakukan hanya untuk bagian lalu lintas lurus saja yaitu $Q = Q_{ST}$

2.9 Arus Jenuh

2.9.1 Arus Jenuh (S)

Arus jenuh adalah besarnya keberangkatan antrian didalam suatu pendekat selama kondisi yang ditentukan (smp/jam hijau). (Departemen PU, 1997).

$$\text{Arus Jenuh (S)} = S_0 \times F_{CS} \times F_{SF} \times F_G \times F_P \times F_{RT} \times F_{LT} \dots \dots \dots (2.4)$$

Keterangan: S_0 = Arus jenuh dasar (smp/jam hijau)

F_{CS} = Faktor ukuran kota

F_{SF} = Faktor hambatan samping

F_G = Faktor kelandaian

F_P = Faktor parkir

F_{RT} = Faktor belok kanan

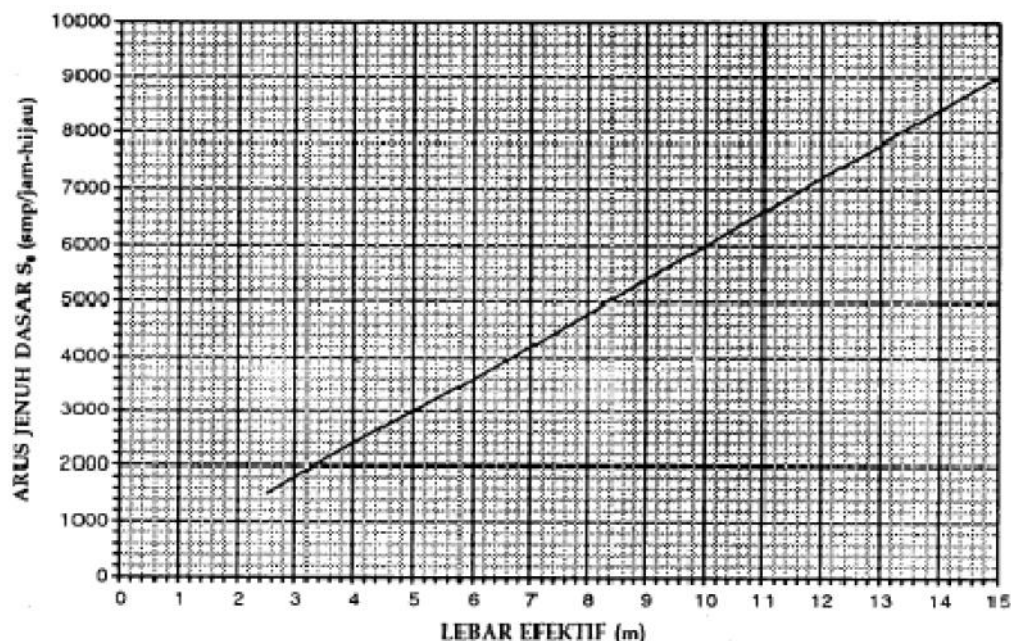
F_{LT} = Faktor belok kiri

2.9.2 Arus Jenuh Dasar (S0)

Arus jenuh dasar adalah besarnya keberangkatan antrian di dalam suatu pendekat selama kondisi yang ideal (smp/jam hijau). (Departemen PU, 1997). 1. Untuk pendekat, dengan tipe P (arus terlindung), dihitung dengan cara

$$S_0 = 600 \times W_e \dots \dots \dots (2.5)$$

2. Pendekat degan tipe O (arus terlawan), S_0 (arus jenuh dasar) ditentukan berdasarkan gambar 2.12 berikut :



Gambar 2.11 Lebar Efektif
Sumber : Manual kapasitas Jalan Indonesia 1997

2.9.3 Faktor-faktor Penyesuaian (F)

Faktor penyesuaian merupakan faktor koreksi untuk penyesuaian dari nilai ideal ke nilai sebenarnya dari suatu variabel. (Departemen PU, 1997).

Untuk nilai dasar arus jenuh untuk kedua tipe pendekat P dan O terdiri dari:

1. Faktor Ukuran Kota (FCS)

Yaitu ukuran besarnya jumlah penduduk yang tinggal dalam suatu daerah perkotaan. Ketentuan faktor penyesuaian ukuran kota seperti pada Tabel 2.2 dibawah ini:

Tabel 2.3 Faktor penyesuaian ukuran kota (FCS)

Jumlah Penduduk Kota (Juta Jiwa)	Faktor Penyesuaian Ukuran Kota (F_{CS})
< 0,1	0,82
0,1 – 0,5	0,83
0,5 – 1,0	0,94
1,0 – 3,0	1,00
> 3,0	1,05

Sumber: Departemen PU, 1997

2. Faktor Lingkungan atau Hambatan Samping (FSF)

Yaitu interaksi antara arus lalu lintas dan kegiatan di samping jalan yang menyebabkan pengurangan terhadap arus jenuh di dalam pendekat pada Tabel di bawah ini:

Tabel 2.4 Faktor hambatan samping ditentukan

Tipe Lingkungan	Hambatan Samping	Tipe Phase	Rasio Kendaraan Tak Bermotor					
			0,00	0,05	0,10	0,15	0,20	≥ 0,25
Komersial (COM)	Tinggi	Terlawan	0,93	0,88	0,84	0,79	0,74	0,70
		Terlindungi	0,93	0,91	0,88	0,87	0,85	0,81
	Sedang	Terlawan	0,94	0,89	0,85	0,80	0,75	0,71
		Terlindungi	0,94	0,92	0,89	0,88	0,86	0,82
	Rendah	Terlawan	0,95	0,90	0,86	0,81	0,76	0,72
		Terlindungi	0,95	0,93	0,90	0,89	0,87	0,83
Permukiman (RES)	Tinggi	Terlawan	0,96	0,91	0,86	0,81	0,78	0,72
		Terlindungi	0,96	0,94	0,92	0,89	0,86	0,84
	Sedang	Terlawan	0,97	0,92	0,87	0,82	0,79	0,73
		Terlindungi	0,97	0,95	0,93	0,90	0,87	0,85
	Rendah	Terlawan	0,98	0,93	0,88	0,83	0,80	0,74
		Terlindungi	0,98	0,96	0,94	0,91	0,88	0,86
Akses Terbatas (RA)	Tinggi/Sedang/Rendah	Terlawan	1,00	0,95	0,90	0,85	0,80	0,75
		Terlindungi	1,00	0,98	0,95	0,93	0,90	0,88

Sumber : Manual kapasitas Jalan Indonesia 1997

3. Faktor Jarak Parkir Tepi Jalan (Fp)

Faktor jarak parkir tepi jalan disesuaikan dengan rumus sebagai berikut:

$$F_p = [L_p/3 - (W_a - 2) \times (L_p/3 - g) / W_a] / g \dots\dots\dots(2.6)$$

Keterangan:

F_p = Faktor jarak parkir tepi jalan

W_a = Lebar pendekat (m)

g = Waktu hijau (dtk)

L_p = Jarak antar garis henti dan kendaraan yang parkir pertama (m)

4. Faktor Belok Kanan (F_{RT})

Faktor koreksi terhadap arus belok kanan pada pendekat yang ditinjau, dapat dihitung dengan rumus (hanya untuk pendekat tipe P, tanpa median, jalan dua arah):

$$F_{RT} = 1 + P_{RT} \times 0,26 \dots\dots\dots(2.7)$$

Keterangan :

P_{RT} = Rasio kendaraan berbelok kanan pada pendekat yang ditinjau

5. Faktor Belok Kiri (FLT) Pengaruh arus belok kiri dihitung dengan rumus (hanya untuk pendekat tipe P tanpa L_{TOR}) :

$$F_{LT} = 1 - P_{LT} \times 0,16 \dots\dots\dots(2.8)$$

Keterangan :

P_{LT} = Rasio kendaraan berbelok kiri pada pendekat yang ditinjau

2.10 Rasio Arus (FR)

Rasio arus (FR) merupakan rasio arus lalu lintas terhadap arus jenuh masing – masing pendekat (Departemen PU, 1997).

Rasio arus (FR) dihitung dengan rumus :

$$FR = \frac{Q}{S} \dots\dots\dots(2.9)$$

Keterangan :

Q = Arus lalu lintas (smp/jam)

S = Arus jenuh (smp/jam hijau)

Nilai kritis FR_{erit} (maksimum) dari rasio yang ada dihitung rasio arus pada simpang dengan penjumlahan rasio arus kritis tersebut:

$$IFR = \Sigma (FR_{erit}) \dots\dots\dots(2.10)$$

Dari kedua nilai di atas maka didapat rasio phase (Phase Ratio) PR untuk tipe phase yaitu :

$$PR = \frac{FR_{erit}}{IFR} \dots\dots\dots(2.11)$$

Perlu diperhatikan :

1. Jika L_{TOR} harus dikeluarkan dari analisa hanya gerakan – gerakan lurus dan belok kanan saja yang dimaksud dalam nilai Q.
2. Jika W_e dan W_{keluar} hanya gerakan lurus saja yang dimasukkan nilai Q
3. Jika suatu pendekat mempunyai sinyal hijau dalam dua phase, yaitu satu untuk arus terlawan (O) dan yang lain untuk arus terlindung (P), gabungan arus lalu lintas sebaiknya dihitung sebagai smp rata – rata berbobot untuk kondisi terlawan dan terlindung, hasilnya dimasukkan ke dalam basis gabungan phase tersebut.

2.11 Waktu Siklus dan Waktu Hijau

2.11.1 Waktu Siklus Sebelum Penyesuaian

Waktu siklus sebelum penyesuaian (C_{ua}) dihitung dengan rumus :

$$C_{ua} = (1,5LT + 5) / (1 - IFR = \Sigma IFR_{erit}) \dots\dots\dots(2.12)$$

Keterangan :

C_{ua} = Waktu siklus sebelum penyesuaian sinyal (dtk)

LT = Jumlah waktu yang hilang setiap siklus (dtk)

IFR = Rasio arus perbandingan dari arus terhadap arus jenuh, arus/arus jenuh (Q/S).

FR_{erit} = Nilai tertinggi arus dari seluruh pendekat yang berhenti pada suatu phase

ΣIFR_{erit} = rasio arus simpang = Jumlah FR_{erit} dari seluruh phase pada simpang.

Waktu siklus yang didapat kemudian disesuaikan dengan waktu siklus yang direkomendasikan pada Tabel 2.4 di bawah :

Tabel 2.5 Pengaturan waktu siklus

Tipe Pengaturan	Waktu Siklus yang Layak (detik)
2 Phase	40 - 80
3 Phase	50 - 100
4 Phase	80 - 130

Sumber: Departemen PU, 1997

Waktu siklus yang melebihi 130 detik harus dihindari kecuali pada kasus yang sangat khusus (simpang sangat besar), karena hal itu sering menyebabkan kerugian

kapasitas keseluruhan. Jika perhitungan menghasilkan waktu siklus yang jauh lebih tinggi dari pada batas yang disarankan, maka hal ini menandakan bahwa kapasitas dari daerah simpang tersebut adalah tidak mencukupi.

2.11.2 Waktu Hijau

Waktu hijau adalah waktu nyala hijau dalam suatu pendekat (Departemen PU, 1997). Perhitungan waktu hijau untuk tiap phase dijelaskan dengan rumus :

$$g_i = (Cua - LTI) \times PRI \geq 10 \text{ det} \dots \dots \dots (2.13)$$

Keterangan :

- g_i = Tampilan waktu hijau pada phase 1 (dtk)
- Cua = Waktu siklus (dtk)
- LTI = Waktu hilang total persiklus (dtk)
- Pri = Rasio phase

Siklus hijau yang lebih pendek dari 10 detik harus dihindari, karena dapat mengakibatkan pelanggaran lampu merah yang berlebihan dan kesulitan bagi pejalan kaki untuk menyebrang jalan, dan bila disesuaikan harus dimasukkan dalam waktu siklus.

2.11.3 Waktu Siklus yang Disesuaikan (c)

Waktu siklus yang disesuaikan dihitung berdasarkan pada waktu hijau yang diperoleh dan telah dibulatkan dan waktu hilang. Dinyatakan dengan rumus :

$$c = \sum g + LT \dots \dots \dots (2.14)$$

2.12 Kinerja Persimpangan

2.12.1 Kapasitas dan Derajat Kejenuhan Persimpangan

Kapasitas merupakan arus lalu lintas maksimum yang dapat dipertahankan (Departemen PU, 1997). Kapasitas pada simpang dihitung pada setiap pendekat ataupun kelompok lajur dalam suatu pendekat.

Kapasitas simpang ditentukan dengan rumus :

$$C = S \times \frac{g}{c} \dots \dots \dots (2.15)$$

Keterangan :

- C = Kapasitas (smp/jam)
- s = Arus Jenuh (smp/jam hijau)
- g = Waktu Hijau (detik)
- c = Panjang Siklus (detik)

Untuk derajat kejenuhan dapat dihitung dengan menggunakan rumus :

$$DS = \frac{Q}{C} \dots\dots\dots (2.16)$$

Keterangan :

Q = Arus lalu lintas (smp/jam)

C = Kapasitas (smp/jam)

2.12.2 Panjang Antrian dan Kendaraan Henti

Yang dimaksud dengan panjang antrian adalah banyaknya kendaraan yang berada pada persimpangan tiap jalur saat nyala lampu merah (Departemen PU, 1997). Panjang antrian digunakan dalam kinerja persimpangan adalah untuk mengetahui panjang antrian maksimum kendaraan dalam sekali waktu siklus pada persimpangan. Rumus untuk menentukan rata – rata panjang antrian berdasarkan Manual Kapasitas Jalan Indonesia (MKJI) 1997, adalah :

Untuk derajat kejenuhan (DS) > 0,5 :

$$NQ_1 = 0,25 \times C \times \left[(DS - 1) + \sqrt{(DS - 1)^2 + 8 \frac{(DS - 0,5)}{C}} \right] \dots\dots\dots (2.17)$$

Untuk derajat kejenuhan (DS) ≤ 0,5

$$NQ_1 = 0$$

Keterangan :

NQ₁ = Jumlah smp yang tersisa dalam phase hijau sebelumnya

GR = Derajat Kejenuhan

C = Kapasitas (smp/jam)

Jumlah antrian selama phase merah (NQ₂)

$$NQ_2 = \frac{1-GR}{1-GR \times DS} \times \frac{Q_{masuk}}{3600} \dots\dots\dots (2.18)$$

Keterangan :

NQ₂ = Jumlah smp yang datang pada phase merah

$$GR = \text{Rasio hijau, dimana } GR = \frac{g}{c} \dots\dots\dots (2.19)$$

Gg = Waktu hijau

Cc = Waktu siklus

Q_{masuk} = Arus lalu lintas yang masuk diluar L_{TOR} (smp/jam)

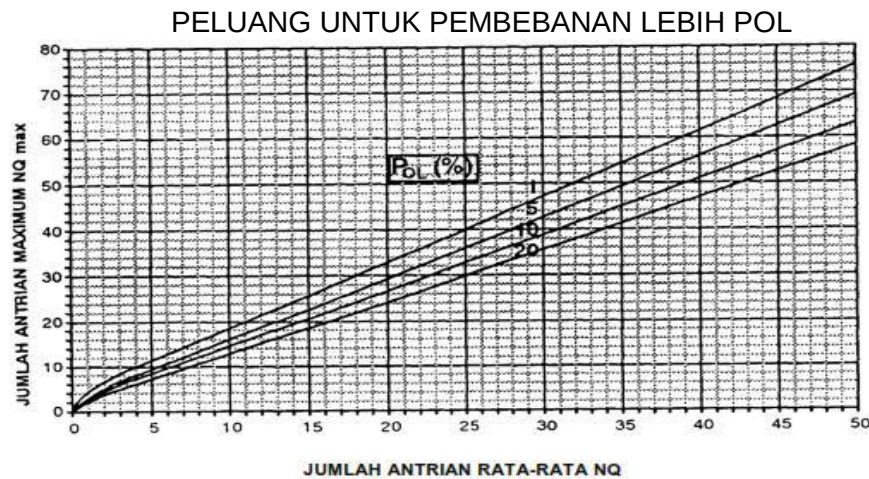
Jumlah kendaraan antri menjadi :

$$NQ = NQ_1 + NQ_2 \dots\dots\dots (2.20)$$

Maka panjang antrian kendaraan adalah mengalikan $NQ_{\max}$ dengan luas rata – rata yang dipergunakan per smp (20 m^2) kemudian dibagi dengan lebar masuknya. $NQ_{\max}$ didapat dengan menyesuaikan nilai NQ dalam peluang yang diinginkan untuk terjadi pembebanan lebih P_{OL} (%) dengan menggunakan gambar

Untuk perencanaan dan perancangan disarankan $P_{OL} \leq 5\%$, untuk operasi suatu nilai $P_{OL} = 5 - 10\%$ mungkin dapat diterima :

$$QL = (NQ_{\max} \times 20) / W_{\text{ENTRY}} \dots \dots \dots (2.21)$$



Gambar 2.12 Angka henti (NS)
Sumber : Manual kapasitas Jalan Indonesia 1997

masing-masing pendekat yang didefinisikan sebagai jumlah berhenti rata-rata per kendaraan (termasuk berhenti terulang dalam antrian) sebelum melewati persimpangan (MKJI, 1997).

Dihitung dengan rumus:

$$NS = \frac{NQ}{QXC} \times 3600 \dots \dots \dots (2.22)$$

Keterangan:

Q = arus lalu lintas (smp/jam)

Jumlah kendaraan terhenti (NSv)

$$Nsv = Q \times NS \text{ (smp/jam)} \dots \dots \dots (2.23)$$

Laju henti untuk seluruh simpang

$$NStot = \frac{\sum Nsv}{Q_{TOT}} \dots \dots \dots (2.24)$$

2.12.3 Tundaan (Delay)

Tundaan yaitu waktu tambahan yang diperlukan untuk melalui persimpangan apabila dibandingkan lintasan tanpa melalui persimpangan. Dalam menentukan baik buruknya kinerja suatu persimpangan, indikator yang digunakan adalah tundaan. Dimana tundaan digunakan untuk menentukan tingkat pelayanan suatu persimpangan.

- a. Tundaan lalu lintas (DT) yaitu waktu menunggu yang disebabkan interaksi antar lalu lintas dengan gerakan lalu lintas yang bertentangan dengan rumus:

$$DT_j = c \times \frac{0,5 \times (1-GR_j)}{(1-GR_j \times DS_j)} \times \frac{NQ \times 3600}{C_j} \dots\dots\dots(2.25)$$

Atau,

$$DT_j = c \times A + \frac{NQ \times 3600}{C_j} \dots\dots\dots(2.26)$$

Keterangan: A = $\frac{0,5 \times (1-GR_j)}{(1-GR_j \times DS_j)}$
 C = Kapasitas (smp/jam)
 DS = Derajat kejenuhan
 GR = Rasio hijau (detik)
 NQ = Jumlah smp yang tersisa

- b. Tundaan Geometrik adalah tundaan yang disebabkan oleh perlambatan dan percepatan kendaraan yang membelok di persimpangan dan/atau yang terhenti oleh lampu merah.

Dihitung dengan rumus : $DG_j = (1- P_{SV}) \times P_t \times 6 + (P_{SV} \times 4) \dots\dots\dots(2.27)$

Atau masukan DGj rata-rata 6 dtk/smp (Departemen PU, 1997) untuk tundaan geometrik gerakan lalu lintas dengan belok kiri langsung (LTOR).

Keterangan : Psv = Rasio kendaraan terhenti pada pendekat
 Pt = Rasio kendaran berbelok pada pendekat

- c. Tundaan pada persimpangan terdiri atas dua komponen yaitu tundaan lalu lintas (DT) dan tundaan geometrik (DG):

$$DJ = DT_j + DG_j \dots\dots\dots(2.28)$$

Keterangan:

DJ = Tundaan rata-rata pendekat j (detik/smp)
 DTj = Tundaan lalu lintas rata-rata pendekat j (detik/smp)
 DGj = Tundaan geometrik rata-rata pendekat

- c. Tundaan total (smp.det) adalah perkalian antara tundaan rata-rata dengan arus lalulintas (D x Q)(2.29)

- d. Tundaan simpang rata-rata

$$D_1 = \frac{\sum (Q \times D_j)}{Q_{total}} \dots\dots\dots(2.30)$$

2.13 Tingkat Pelayanan Simpang Bersinyal

Tingkat pelayanan pada setiap pendekat dapat diketahui melalui tundaan rata – rata ditiap pendekat itu. Dimana hubungan antara tundaan rata – rata dan tingkat pelayanan dapat dilihat melalui tabel berikut :

Tabel 2.6 Kriteria Tingkat Pelayanan Simpang Bersinyal

Tingkat Pelayanan	Tundaan per kendaraan (det/kend)
A	≤ 5
B	$>5.1 - 15$
C	$>15.2 - 25$
D	$>25.1 - 40$
E	$>40.1 - 60$
F	≥ 60.0

Sumber : Manual kapasitas Jalan Indonesia 1997

Tabel 2.7 Kelas Hambatan Samping

Kelas Hambatan Samping (SFC)	Kode	Jumlah Berbobot Kejadian Per 200 m/jam (dua sisi)	Kondisi Khusus
Sangat Rendah	VL	<100	Daerah pemukiman; jalan samping tersedia
Rendah	L	100-299	Daerah pemukiman; beberapa angkutan umum dsb
Sedang	M	300-99	Daerah industri; beberapa toko sisi jalan
Tinggi	H	500-899	Daerah komersial; aktivitas sisi jalan tinggi
Sangat Tinggi	VH	>900	Daerah komersial; aktivitas pasar sisi jalan

Sumber : Manual kapasitas Jalan Indonesia 1997

2.14 Studi Terdahulu

Analisa Traffic Light Pada Persimpangan Jalan Tritura (Jalan Bajak) Medan Dengan Menggunakan Metode MKJI & Webster (Studi Kasus : Jl. Tritura/ Jl. Bajak) oleh Ningsih Farida Manalu, lokasi yang diamati oleh penulis, khususnya pada jam-jam puncak sering mengalami kemacetan. Penulis mencoba untuk melakukan analisa pada system Jl. Bajak (Arah Sp. Limun) – Jl. A.H Nasution (Arah Jl. Johor) analisa pada system *traffic light* yang dilakukan penulis adalah dengan menggunakan metode Manual Kapasitas Jalan Indonesia 1997 (MKJI 1997) yang meliputi analisa terhadap kapasitas persimpangan, waktu siklus, panjang antrian, system fase dan lain lain dan menggunakan metode Webster meliputi analisa terhadap arus jenuh, waktu hijau efektif, waktu siklus dan tundaan. Setelah dilakukan survey terhadap volume lalu lintas, waktu siklus, dan geometrik persimpangan selama tiga hari serta penganalisaan data dengan menggunakan MKJI 1997 fase sebesar 101 detik. Sedangkan waktu siklus yang ada dengan 2 fase sebesar 98 detik. Hal ini disebabkan oleh karena meningkatnya pertumbuhan lalu lintas yang sangat cepat sehingga melampaui kapasitas perencanaan sebelumnya. Sehingga solusinya Perlu dilakukan perubahan waktu siklus dan waktu sinyal pada lampu lalu lintas dan Perlu ditertibkan lingkungan sekitar jalan seperti mobil penumpang yang menaikkan atau menurunkan penumpang.

Analisis Kinerja Simpang Bersinyal Jl. Pahlawan Seribu – Jl. Kapten Soebijanto Djoyohadi kusumo Serpongvoleh Ririn Wahyu Saputri. Penulis melakukan evaluasi untuk memperbaiki kinerja simpang adalah dengan cara melakukan survey lapangan untuk mendapatkan data primer maupun data sekunder yang kemudian diolah menggunakan standar MKJI 1997. Selain itu juga dilakukan survey pelanggaran sepeda motor di simpang guna mengetahui dampaknya terhadap kinerja simpang. Pengambilan data dilakukan pada jam puncak pagi, jam puncak sore dan jam siang. Data yang didapat dianalisis untuk mencari pemecahan masalah. Pemecahan masalah yang pertama adalah dengan mengevaluasi waktu siklus berdasarkan geometric simpang. Pemecahan masalah yang kedua adalah dengan cara menutup sebagian arah arus menggunakan waktu siklus eksisting. Hasil optimasi simpang dengan mengevaluasi waktu siklus berdasarkan geometrik simpang didapatkan nilai derajat kejenuhan yang lebih kecil untuk beberapa lengan simpang dibandingkan dengan kondisi eksisting. Hasil yang didapat untuk nilai DS yaitu 0.70 untuk sore hari dan tundaan rata-rata 46.68 detik pada sore hari. Hasil evaluasi simpang dengan penghapusan LTOR pada lengan utara dan selatan serta larangan angkutan umum melewati lengan barat simpang, didapat nilai derajat kejenuhan < 0.75 pada pagi hari untuk semua lengan sedangkan untuk siang hari didapat derajat

kejenuhan pada lengan utara 0.59 dan 0.71 pada sore hari (lebih kecil dari kondisi eksisting). Sedangkan nilai tundaan didapat lebih kecil dari eksisting yaitu 62.27 detik pada pagi hari dan 60.55 pada sore hari. Dari dua cara diatas, solusi dengan menutup sebagian arah arus agar memberikan nilai derajat kejenuhan yang kecil dan hampir sama nilai nya untuk semua lengan simpang.

Analisis tingkat resiko kecelakaan lalu lintas simpang bersinyal patung kirab, yang menjadi tujuan dalam penelitian ini adalah menganalisa tingkat resiko kecelakaan dan faktor penyebabnya pada daerah simpang bersinyal patug kirab. Hasil survei didapat dengan menggunakan formulir Inspeksi Keselamatan Jalan (IKJ), apabila dilihat dari aspek geometri jalan, yang menimbulkan kecelakaan adalah ketidakserdiaannnya trotoar bagi pejalan kaki dan dari aspek arus lalu lintas yang menimbulkan resiko keelakaan adalah kecepatan kedaraan yang menmbulkan konflik antar kendaraan dengan kendaraan lain dan juga kendaraan dengan pejalan kaki, serta perilaku pengguna jalan yang sering menerobos lampu merah. Waktu hijau hasil analisis lebih besar dari waktu hijau hasil riil di lapangan maka dapat menimbulkan tundaan dan antrian yang panjang sehingga memicu pengguna jalan melanggar lampu merah, kecepatan pada simpang rata-rata berdasarkan survey adalah 60km/jam tidak sesuai dengan MKJI 1997 yaitu 10km/jam sehingga meningkatkan resiko tabrakan.