

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Sistem transportasi yang efisien sangat penting dalam mendukung mobilitas masyarakat dan pertumbuhan ekonomi di perkotaan. Salah satu aspek krusial dalam pengelolaan transportasi adalah manajemen lalu lintas di persimpangan, karena persimpangan merupakan titik pertemuan berbagai arus kendaraan (titik konflik) yang berpotensi menyebabkan kemacetan dan meningkatkan risiko kecelakaan. Persimpangan tanpa pengaturan yang jelas sering kali menyebabkan ketidakteraturan arus lalu lintas, peningkatan waktu tempuh, serta menurunnya tingkat keselamatan jalan. Salah satu solusi yang efektif untuk mengatasi permasalahan ini adalah konversi dari simpang tak bersinyal ke simpang bersinyal dengan menggunakan traffic light. Traffic light berfungsi sebagai alat pengatur lalu lintas untuk mengoptimalkan kapasitas jalan, mengurangi waktu tundaan (*delay*), serta meningkatkan keselamatan pengguna jalan. Oleh karena itu, perencanaan traffic light menjadi langkah penting dalam meningkatkan efisiensi lalu lintas di persimpangan dengan tingkat kepadatan tinggi.

Salah satu persimpangan di Kota Medan yang mengalami permasalahan lalu lintas akibat simpang tak bersinyal adalah Persimpangan Jalan Irian Barat Desa Sampali - Jalan Cemara - Jalan H. Anif - Jalan Williem Iskandar. Persimpangan ini merupakan titik temu kendaraan dari kawasan permukiman, perdagangan, dan perkantoran yang memiliki intensitas lalu lintas tinggi, terutama pada jam sibuk pagi dan sore hari. Saat ini, persimpangan tersebut masih beroperasi tanpa traffic light, sehingga sering terjadi ketidakteraturan pergerakan kendaraan, antrean

panjang, serta meningkatnya risiko kecelakaan. Ketiadaan sistem pengaturan lalu lintas yang jelas mengakibatkan kendaraan harus menyesuaikan pergerakannya sendiri, yang sering kali menyebabkan konflik antar kendaraan, penurunan kapasitas jalan, dan waktu tempuh yang lebih lama bagi pengguna jalan.

Penelitian ini bertujuan untuk mengisi kesenjangan tersebut dengan melakukan analisis terhadap kondisi lalu lintas eksisting pada simpang tak bersinyal serta merancang sistem traffic light yang optimal di persimpangan tersebut. Dengan menggunakan metode kuantitatif berbasis Manual Kapasitas Jalan Indonesia (MKJI, 1997), penelitian ini akan mengevaluasi berbagai parameter seperti volume kendaraan, waktu tundaan, tingkat kejenuhan (*degree of saturation*), guna menentukan desain traffic light yang paling optimal. Hasil penelitian ini diharapkan dapat menyediakan rekomendasi teknis yang dapat diterapkan oleh pemerintah daerah dan instansi terkait dalam perencanaan dan implementasi traffic light, sehingga dapat meningkatkan kelancaran arus lalu lintas, mengurangi kemacetan, serta mendukung sistem transportasi yang lebih efisien dan berkelanjutan di Kota Medan.

1.2 Identifikasi Masalah

Dari uraian latar belakang diatas maka dapat di identifikasikan masalah-masalah sebagai berikut :

1. Volume arus lalu lintas tinggi.
2. Ketidakteraturan arus lalu lintas di persimpangan.
3. Tingginya waktu tundaan antrian.
4. Tidak memiliki traffic light

1.3 Batasan Masalah

Untuk membatasi lingkup permasalahan dan mempermudah pembahasan dalam penelitian ini, maka dilakukan pembatasan masalah sebagai berikut:

1. Penelitian ini hanya berfokus pada Persimpangan Jalan Irian Barat Desa Sampali - Jalan Cemara - Jalan H. Anif - Jalan Williem Iskandar.
2. Pengambilan data primer berupa survei lalu lintas dilakukan pada waktu jam sibuk yaitu pagi hari pukul 07.00-09.00 WIB, siang hari pukul 12.00-14.00 WIB, sore hari 17.00-19.00 WIB.
3. Perhitungan dan analisis dilakukan menggunakan Manual Kapasitas Jalan Indonesia (MKJI, 1997) sebagai dasar dalam perencanaan Traffic Light.

1.4 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang diatas, maka dapat dirumuskan masalah dalam penelitian ini sebagai berikut:

1. Bagaimana pengaruh volume arus lalu lintas yang tinggi terhadap kinerja lalu lintas di Persimpangan Jalan Irian Barat Desa Sampali - Jalan Cemara - Jalan H. Anif - Jalan Williem Iskandar?
2. Bagaimana tingkat ketidakteraturan arus lalu lintas pada persimpangan tanpa sinyal dan bagaimana dampaknya terhadap kelancaran serta keselamatan pengguna jalan?
3. Bagaimana perencanaan sistem traffic light yang optimal dapat mengurangi waktu tundaan dan meningkatkan kinerja lalu lintas di persimpangan tersebut?

1.5 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Menganalisis pengaruh volume arus lalu lintas yang tinggi terhadap kinerja lalu lintas di Persimpangan Jalan Irian Barat Desa Sampali - Jalan Cemara - Jalan H. Anif - Jalan Williem Iskandar guna mengetahui kapasitas jalan serta tingkat kejenuhan lalu lintas pada persimpangan tersebut.
2. Mengidentifikasi tingkat ketidakteraturan arus lalu lintas pada persimpangan tanpa sinyal dan mengevaluasi dampaknya terhadap kelancaran serta keselamatan pengguna jalan melalui analisis kuantitatif berbasis Manual Kapasitas Jalan Indonesia (MKJI, 1997).
3. Merancang sistem traffic light yang optimal dengan mempertimbangkan volume kendaraan, waktu tundaan (*delay*), dan tingkat kejenuhan (*degree of saturation*) guna meningkatkan efisiensi dan keselamatan lalu lintas di persimpangan tersebut.

1.6 Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Sebagai pedoman pengembangan ilmu bagi para pembaca, khususnya mahasiswa Teknik Sipil mengenai analisis kinerja lalu lintas menggunakan traffic light berbasis Manual Kapasitas Jalan Indonesia (MKJI, 1997).
2. Bagi pemerintah Kota Medan, hasil penelitian ini dapat menjadi bahan masukan dan pembaharuan marka dan rambu yang relevan dan jelas serta bahan pertimbangan untuk penanganan simpang tak bersinyal.

1.7 Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

BAB I PENDAHULUAN

Berisikan tentang latar belakang, identifikasi masalah, rumusan masalah, batasan masalah, tujuan penelitian, manfaat penelitian, dan sistematika penelitian.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Berdasarkan tentang pokok pembahasan teori atau materi yang mendasari dalam pelaksanaan proses penelitian ini.

BAB III METODE PENELITIAN

Pada bab ini mencakup metode penelitian, sumber data, teknik pengumpulan data, lokasi penelitian dan prosedur penelitian.

BAB IV HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

Bab ini berisi tentang perancangan dan hasil perencanaan dari Traffic Light tersebut, serta hasil pengujian yang telah penulis lakukan.

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

Berisikan kesimpulan dan saran dari hasil perencanaan Traffic Light tersebut.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Umum

Transportasi adalah perpindahan manusia atau barang dari suatu tempat ke tempat yang lainnya dengan menggunakan sebuah kendaraan yang digerakkan oleh manusia atau mesin. Transportasi digunakan untuk memindahkan manusia dalam melakukan aktivitas sehari-hari. Di dalam pengertian transportasi, terdapat unsur-unsur yang terkait erat dalam berjalannya konsep transportasi itu sendiri.

Unsur-unsur dalam transportasi tersebut adalah sebagai berikut:

1. Manusia yang membutuhkan .
2. Barang yang di butuhkan.
3. Kendaraan sebagai alat/sarana.
4. Organisasi (Pengelola transportasi).
5. Jalan dan terminal sebagai prasarana transportasi.

2.2 Pengertian Lampu Lalu Lintas (Traffic Light)

Menurut Undang-Undang No. 22 Tahun 2009 tentang Lalu lintas dan Angkutan Jalan, Alat Pemberi Isyarat Lalu Lintas atau APILL adalah lampu yang mengendalikan arus lalu lintas yang terpasang di persimpangan jalan, tempat penyebrangan pejalan kaki (*zebra cross*) dan tempat arus lalu lintas lainnya. Lampu ini yang menandakan kapan kendaraan harus berjalan dan berhenti secara bergantian dari berbagai arah lalu lintas.

Pengaturan lalu lintas di persimpangan jalan dimaksudkan untuk mengatur pergerakan kendaraan pada masing-masing kelompok pergerakan kendaraan agar dapat bergerak secara bergantian sehingga tidak saling mengganggu antar arus

yang ada. Instalasi lampu lalu lintas terdiri dari tampilan-tampilan warna lampu berikut mekanisme pengendaliannya.

Lampu lalu lintas merupakan alat pengatur lalu lintas yang mempunyai tugas utama sebagai hak berjalan pergerakan lalu lintas. Tujuan diterapkannya pengaturan dengan lalu lintas menurut Ogesly dkk (1988) adalah :

1. Menciptakan pergerakan dan hak berjalan secara bergantian dan teratur sehingga meningkatnya daya dukung pertemuan jalan dalam melayani arus lalu lintas.
2. Hirarki rute bisa dilaksanakan, rute utama disahkan mengalami keterlambatan (*delay*) minimal.
3. Untuk meningkatkan keamanan sistem secara keseluruhan.
4. Untuk menyeimbangkan kuantitas pelayanan diseluruh aliran lalu lintas.
5. Memberikan rasa percaya kepada pengemudi bahwa hak berjalannya terjamin dan menumbuhkan sikap disiplin.
6. Untuk mengurangi waktu tempuh rata-rata di sebuah persimpangan, sehingga meningkatkan kapasitas.
7. Untuk mengurangi jumlah kecelakaan lalu lintas yang disebabkan oleh tabrakan antara kendaraan yang berlawanan arah.
8. Mengkoordinasikan lalu lintas di bawah kondisi jarak sinyal yang cukup baik, sehingga aliran lalu lintas tetap berjalan menerus pada kecepatan tertentu.
9. Memutuskan arus lalu lintas bagi lewatnya kendaraan darurat (*ambulance*) atau pada jembatan gerak.

2.3 Persimpangan

Persimpangan sebidang adalah simpul pada jaringan jalan dimana jalan-jalan bertemu dan lintasan kendaraan berpotongan. Lalu lintas pada masing-masing kaki persimpangan menggunakan ruang jalan pada persimpangan secara bersama-sama dengan lalu lintas lainnya. Persimpangan – persimpangan adalah merupakan factor-faktor yang paling penting dalam menentukan kapasitas dan waktu perjalanan pada suatu jaringan jalan, khususnya di daerah-daerah perkotaan (*Ir. Iskandar Abubakar, M,Sc 1995:41*).

Karena persimpangan harus dimanfaatkan bersama-sama oleh setiap orang yang ingin menggunakannya, maka persimpangan tersebut harus dirancang dengan hati-hati, dengan mempertimbangkan efisiensi, keselamatan, kecepatan, biaya operasi, dan kapasitas. Pergerakan lalu lintas yang terjadi dan urutan-urutannya dapat ditangani dengan berbagai cara, tergantung pada jenis persimpangan yang dibutuhkan (*C. Jotin Khisty, 2003*).

2.3.1. Jenis-Jenis Pengaturan Persimpangan

Metode pengendalian pergerakan kendaraan pada persimpangan diperlukan agar kendaraan-kendaraan yang melakukan gerakan konflik tersebut tidak akan saling bertabrakan.

Ada beberapa jenis pengaturan simpang (*Ir. Iskandar Abubakar, M,Sc 1995:42*), yaitu:

1. Pengaturan tanpa Lampu Lalu Lintas (Secara Manual)

Pengaturan tanpa lampu lalu lintas ini maksudnya adalah pengemudi kendaraan bebas untuk belok kiri atau ke kanan atau bergerak lurus tanpa ada

yang mengaturnya. Persimpangan jalan kecil (bukan jalan utama) biasanya pengaturannya secara manual tanpa lampu lalu lintas.

2. Pengaturan dengan Bundaran

Bundaran lalu lintas merupakan suatu alternative dari pengaturan lampu lalu lintas.

Dimana hal ini mengendalikan lalu lintas dengan cara :

- a. Membelokkan kendaraan-kendaraan dari suatu lintasan yang lurus sehingga akan memperlambat kecepatannya.
- b. Membatasi alih gerak (maneuver) kendaraan menjadi pergerakan berpenjar (diverging), bergabung (merging) serta bersilang (weaving), jadi memperkecil relatif dari kendaraan.

3. Pengaturan dengan Lampu Lalu Lintas

Lampu pengatur lalu lintas merupakan suatu alat yang sederhana melalui pemberian prioritas bagi masing-masing pergerakan lalu lintas secara beruntun (untuk memenuhi pengemudi untuk berhenti atau berjalan). Alat ini memberikan prioritas bergantian dalam suatu periode waktu. Alat pengatur ini menggunakan indikasi lampu hijau, kuning, merah. Tujuan dari pemisahan waktu bergerak ini adalah untuk menghindarkan terjadinya pergerakan yang saling berpotongan melalui titik konflik pada saat bersamaan.

2.3.2. Jenis-Jenis Persimpangan

Secara garis besarnya persimpangan terbagi dalam 2 bagian :

1. Persimpangan Sebidang

Persimpangan sebidang adalah persimpangan dimana berbagai jalan atau ujung jalan masuk persimpangan mengarahkan lalu lintas masuk ke jalan yang dapat berlawanan dengan lalu lintas lainnya.

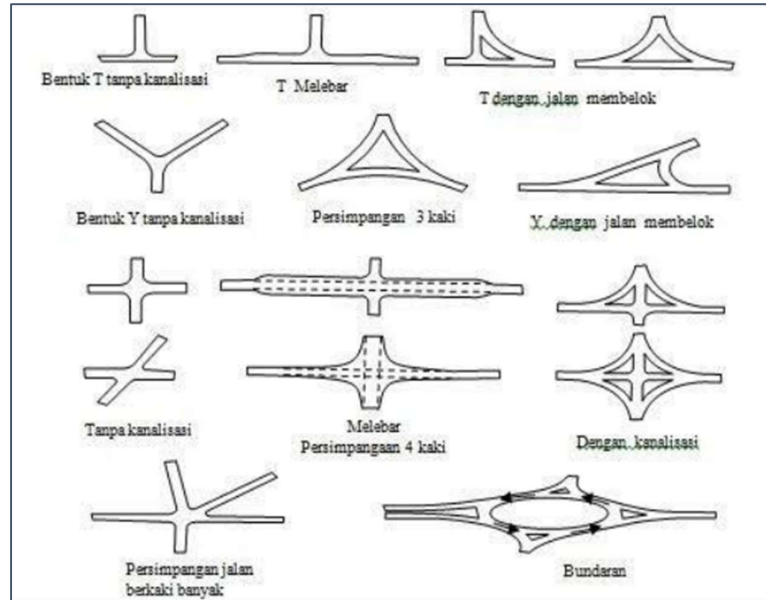
Pada persimpangan sebidang menurut jenis fasilitas pengatur lalu lintasnya di pisahkan menjadi 2 (dua) bagian:

- a. Simpang bersinyal ini adalah suatu persimpangan yang terdiri dari beberapa lengan dan dilengkapi dengan pengaturan sinyal lalu lintas (*traffic light*). Berdasarkan MKJI 1997, adapun tujuan penggunaan sinyal lampu lalu lintas (*traffic light*) pada persimpangan antara lain :
 - 1) Untuk menghindari kemacetan simpang akibat adanya konflik arus lalu lintas, sehingga terjamin bahwa suatu kapasitas tertentu dapat di pertahankan, bahkan selama kondisi lalu lintas jam puncak.
 - 2) Untuk memberi kesempatan kepada kendaraan atau pejalan kaki dari jalan simpang (kecil) untuk memotong jalan utama.
 - 3) Untuk mengurangi jumlah kecelakaan lalu lintas akibat tabrakan antara kendaraan dari arah yang bertentangan.
- b. Simpang tak bersinyal adalah pertemuan jalan yang tidak menggunakan sinyal pada pengaturannya. Pada umumnya simpang tak bersinyal dengan pengaturan hak jalan (prioritas dari sebelah kiri) digunakan di daerah permukiman perkotaan dan daerah pedalaman untuk persimpangan antara jalan local dengan arus lalu lintas rendah. Untuk persimpangan dengan kelas atau fungsi jalan yang berbeda, lalu lintas pada jalan minor harus di atur dengan tanda “yield” atau “stop”. Simpang tak bersinyal paling efektif

apabila ukurannya kecil dan daerah konflik lalu lintasnya ditentukan dengan baik. Karena itu simpang ini sangat sesuai untuk persimpangan antara jalan dua lajur tak terbagi.

Pertemuan jalan sebidang ini pada dasarnya ada 4 macam yaitu:

- a. Bercabang 3
- b. Bercabang 4
- c. Bercabang banyak
- d. Bundaran (Rotaty Intersection)



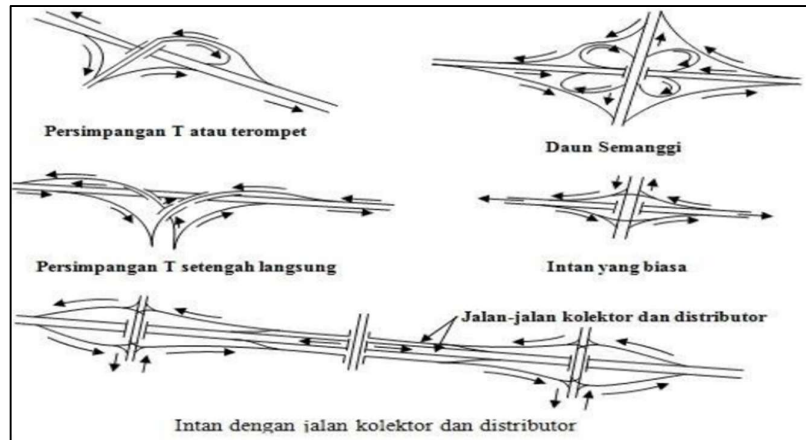
Gambar 2.1 Berbagai Jenis Persimpangan Jalan Sebidang

Sumber : Morlok, E. K. (1991)

2. Persimpangan tidak sebidang/simpang susun

Persimpangan tidak sebidang adalah simpang yang memisah-misahkan lalu lintas pada jalur yang berbeda sedemikian rupa sehingga simpang jalur dari kendaraan-kendaraan hanya terjadi pada tempat dimana kendaraan-kendaraan memisah dari atau bergabung menjadi satu jalur gerak yang sama. (contoh jalan layang), karena kebutuhan untuk menyediakan gerakan

membelok tanpa berpotongan, maka dibutuhkan tikungan yang besar dan sulit serta biayanya yang mahal.



Gambar 2.2 Persimpangan Tidak Sebidang
Sumber : Morlok, E. K. (1991)

2.3.3. Analisis Kinerja Simpang

Analisis kinerja simpang menitik beratkan pada pengamatan dan penilaian kondisi simpang saat ini. Kriteria yang digunakan dalam menganalisis adalah kapasitas simpang, tundaan, derajat kejenuhan dan peluang antrian. Dengan adanya data tersebut kemampuan atau kinerja simpang terhadap penggunaan jalan dapat diketahui. Hasil analisis simpang ini akan berguna bagi perencanaan terhadap simpang ini untuk masa yang akan datang, dengan tujuan untuk mendapatkan simpang yang aman, ekonomis, dan berwawasan lingkungan.

2.4 Simpang Tak Bersinyal

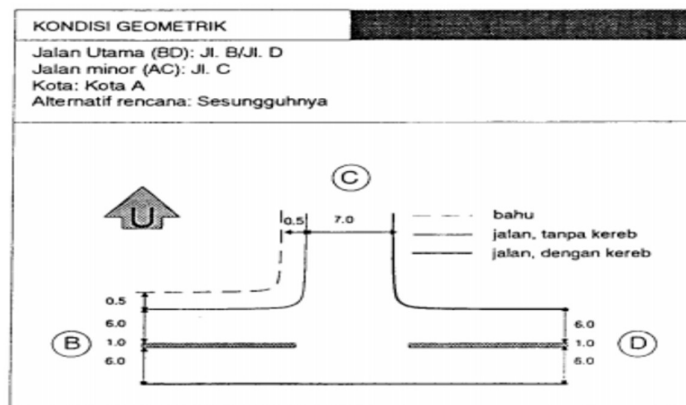
Simpang tak bersinyal adalah pertemuan jalan yang tidak menggunakan sinyal pada pengaturannya. Pada umumnya simpang tak bersinyal dengan pengaturan hak jalan (prioritas dari sebelah kiri) digunakan di daerah pemukiman perkotaan dan daerah pendalaman untuk persimpangan antara jalan lokal dengan arus lalu lintas rendah. Untuk persimpangan antara jalan lokal dengan arus lalu

lintas rendah. Untuk persimpangan dengan kelas atau fungsi jalan yang berbeda, lalu lintas pada jalan minor harus di atur dengan tanda “yield” atau “stop”. Simpang tak bersinyal paling efektif apabila ukurannya kecil dan daerah konflik lalu lintasnya ditentukan dengan baik. Karena itu simpang ini sangat sesuai untuk persimpangan antara jalan dua lajur tak terbagi.

2.4.1. Data Masukan

2.4.1.1.Kondisi Geometrik

Pola geometrik digambarkan pada Formulir USIG-I, lihat contoh di bawah pada Gambar 2.3 Nama jalan minor dan utama dan nama kota dicatat pada bagian atas sketsa sebagaimana juga nama pilihan dari alternatif rencana. Untuk orientasi sketsa sebaiknya juga memuat panah penunjuk arah. Sketsa sebaiknya memberikan gambaran yang baik dari suatu simpang mengenai informasi tentang kerib, lebar jalur, bahu dan median. Jika median cukup lebar sehingga memungkinkan melintasi simpang dalam dua tahap dengan berhenti di tengah (biasanya 3 m), kotak di bagian bawah sketsa dicatat sebagai "Lebar", jika tidak dicatat "Sempit" atau "Tidak ada" (jika tidak ada). Informasi dalam sketsa digunakan pada Formulir USIG-II sebagai data masukan untuk analisa kapasitas.

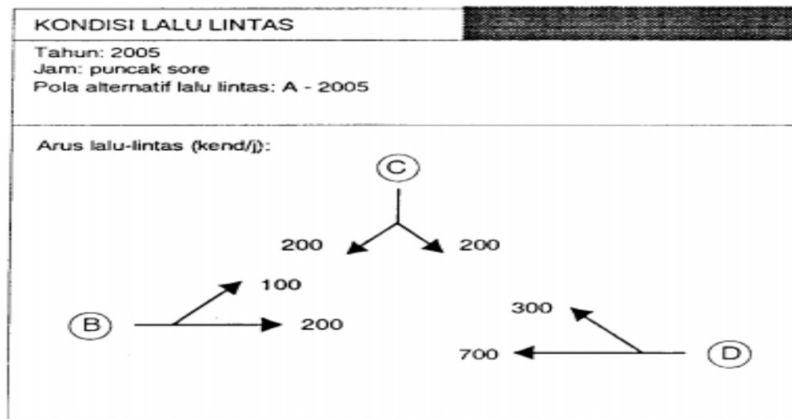


Gambar 2.3 Contoh Sketsa Data Masukan Geometri

Sumber : Manual Kapasitas Jalan Indonesia 1997

2.4.1.2.Kondisi Lalu Lintas

Kondisi lalu lintas yang dianalisa ditentukan menurut arus jam rencana atau lalau-lintas harian rata-rata tahunan dengan faktor K yang sesuai untuk konversi LHRT menjadi arus per jam. Sketsa mengenai arus lalu lintas sangat diperlukan terutama jika akan merencanakan perubahan sistem pengaturan simpang dari tidak bersinyal menjadi simpang bersinyal maupun sistem satu arah.



Gambar 2.4 Contoh Sketsa Arus Lalu Lintas
 Sumber : Manual Kapasitas Jalan Indonesia 1997

2.4.1.3.Kondisi Lingkungan

Data lingkungan diperlukan untuk perhitungan dan harus diisikan dalam kotak bagian kanan atas formulir USIG-II ANALISA.

a. Kelas Ukuran Kota

Faktor ini hanya dipengaruhi oleh variabel besar kecilnya jumlah penduduk dalam juta, seperti tercantum dalam Tabel 2.1 dibawah ini:

Tabel 2.1 Kelas Ukuran Kota

Ukuran kota	Jumlah penduduk (juta)
Sangat kecil	< 0,1
Kecil	0,1 -0,5
Sedang	0,5- 1,0
Besar	1,0-3,0
Sangat besar	> 3,0

Sumber : Manual Kapasitas Jalan Indonesia (1997)

b. Tipe Lingkungan Jalan

Lingkungan jalan diklasifikasikan dalam kelas menurut tata guna tanah dan aksesibilitas jalan tersebut dari aktivitas sekitarnya. Hal ini ditetapkan secara kualitatif dari pertimbangan teknik lalu-lintas dengan bantuan Tabel 2.2 di bawah:

Tabel 2.2 Tipe Lingkungan Jalan

Komersial	Tata guna lahan komersial (misalnya pertokoan, rumah makan, perkantoran) dengan jalan masuk langsung bagi pejalan kaki dan kendaraan.
Permukiman	Tata guna lahan tempat tinggal dengan jalan masuk langsung bagi pejalan kaki dan kendaraan.
Akses terbatas	Tanpa jalan masuk atau jalan masuk langsung terbatas (misalnya karena adanya penghalang fisik, jalan samping dsb).

Sumber : Manual Kapasitas Jalan Indonesia (1997)

c. Kelas Hambatan Samping

Hambatan samping menunjukkan pengaruh aktivitas samping jalan di daerah simpang pada arus berangkat lalu-lintas, misalnya pejalan kaki berjalan atau menyeberangi jalur, angkutan kota dan bis berhenti untuk menaikkan dan menurunkan penumpang, kendaraan masuk dan keluar halaman dan tempat parkir di luar jalur. Hambatan samping ditentukan secara kualitatif dengan pertimbangan teknik lalu-lintas sebagai Tinggi, Sedang atau Rendah.

2.4.1.4. Arus Lalu Lintas (Q)

Arus lalu-lintas merupakan jumlah kendaraan bermotor yang melewati suatu titik pada jalan persatuan waktu, dinyatakan dalam kend/jam (Q_{kend}), smp/jam (Q_{smp}) atau LHRT (Lalu-lintas Harian Rata-rata Tahunan). Arus lalulintas yang digunakan dalam analisis kapasitas simpang dipakai arus lalu-lintas yang paling padat per jam dari keseluruhan gerakan kendaraan yang sebelumnya dihitung per 15 menit. Arus kendaraan adalah kendaraan per jam

untuk masing-masing gerakan dihitung dengan % kendaraan konversi yaitu mobil penumpang.

$$Q_{smp} = Q_{kend} \times emp_{LV} + Q_{kend} \times emp_{HV} + Q_{kend} \times emp_{MC} \dots \dots \dots (2.1)$$

Keterangan:

Q_{smp} : Arus total pada persimpangan (smp/jam)

Q_{kend} : Arus pada masing-masing simpang (kend/jam)

Emp : Ekuivalen mobil penumpang (LV=1, HV=0,3 dan MC=0,5)

2.4.2. Kapasitas

2.4.2.1 Lebar Pendekat Dan Tipe Simpang

a) Lebar rata-rata pendekat W_1

Lebar pendekat diukur pada jarak 10 m dari garis imajiner yang menghubungkan tepi perkerasan dari jalan berpotongan, yang dianggap mewakili lebar pendekat efektif untuk masing-masing pendekat. Untuk pendekat yang sering digunakan parker pada jarak kurang 20 m dari garis imajiner yang menghubungkan tepi perkerasan dari jalan berpotongan, lebar pendekat tersebut harus dikurangi 2 m. Hitung lebar rata-rata pendekat.

$$W_1 = (W_A + W_C + W_B + W_D) / \text{Jumlah lengan simpang} \dots \dots \dots (2.2)$$

2.4.2.2 Jumlah Lajur

Jumlah lajur yang digunakan untuk keperluan perhitungan ditentukan dari lebar rata-rata pendekat jalan untuk jalan simpang dan jalan utama sebagai berikut. Tentukan lebar rata-rata pendekat jalan minor dan jalan utama dari tabel 2.3 dibawah ini:

Tabel 2.3 Lebar Pendekat dan Jumlah Lajur

Lebar pendekat jalan rata-rata, WAC, WBD (m)	Jumlah lajur (total) untuk kedua arah
$WBD = (b + d/2)/2 < 5,5$	2
$\geq 5,5$	4
$WAC = (a/2 + c/2)/2 < 5,5$	2
$\geq 5,5$	4

Sumber : Manual Kapasitas Jalan Indonesia (1997)

2.4.2.3 Tipe Simpang

Tipe simpang/Intersection Type (IT) ditentukan banyaknya lengan simpang dan banyaknya lajur pada jalan major dan jalan minor di simpang tersebut dengan kode tiga angka seperti terlihat di tabel 2.4 di bawah ini. Jumlah lengan adalah banyaknya lengan dengan lalu-lintas masuk atau keluar atau keduanya.

Tabel 2.4 Kode Tipe Simpang (IT)

Kode	IT Jumlah Lengan Simpang	Jumlah Lajur Jalan Minor	Jumlah Lajur Jalan Major
322	3	2	2
324	3	2	4
342	3	4	2
422	4	2	2
424	4	2	4

Sumber : Manual Kapasitas Jalan Indonesia (1997)

2.4.2.4 Kapasitas Dasar (Co)

Kapasitas dasar merupakan kapasitas persimpangan jalan total untuk suatu kondisi tertentu yang telah ditentukan sebelumnya (kondisi dasar). Kapasitas

dasar (smp/jam) ditentukan oleh tipe simpang. Untuk dapat menentukan besarnya kapasitas dasar dapat dilihat pada Tabel 2.5 di bawah ini:

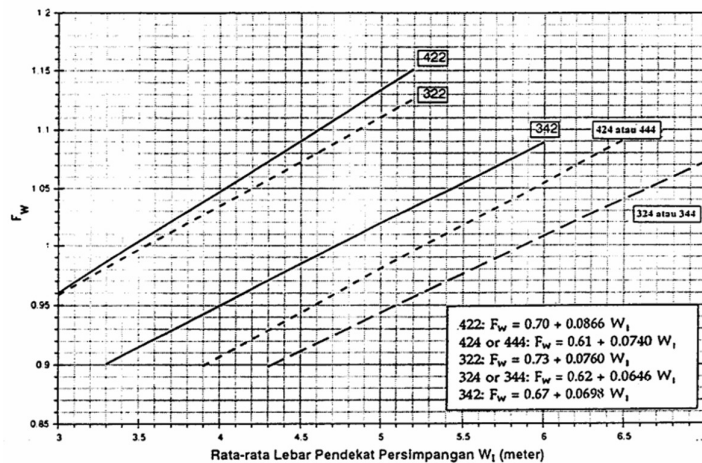
Tabel 2.5 Kapasitas Dasar Menurut Tipe Simpang

Tipe Simpang (IT)	Kapasitas Dasar (smp/jam)
322	2700
342	2900
324 atau 344	3200
422	2900
424 atau 444	3400

Sumber : Manual Kapasitas Jalan Indonesia (1997)

2.4.2.5 Faktor Penyesuaian Lebar Pendekat

Penyesuaian lebar pendekat (F_w), diperoleh dari Gambar 2.5. Variabel masukan adalah lebar rata-rata semua pendekat W_1 dan tipe simpang IT. Batas nilai yang diberikan dalam gambar adalah rentang dasar empiris dari manual.



Gambar 2.5 Faktor Penyesuaian Lebar Pendekat (F_w)

Sumber : Manual Kapasitas Jalan Indonesia 1997

2.4.2.6 Faktor Penyesuaian Median Jalan Utama

Faktor Penyesuaian median jalan utama diperoleh dengan menggunakan tabel

2.6. Penyesuaian hanya digunakan untuk jalan utama dengan 4 lajur.

Tabel 2.6 Faktor Penyesuaian Median Jalan Utama

Uraian	Tipe M	Faktor Penyesuaian median, (Fw)
Tidak ada median jalan utama	Tidak ada	1,00
Ada media jalan utama, lebar < 3 m	Sempit	1,05
Ada media jalan utama, lebar \geq 3 m	Lebar	1,20

Sumber : Manual Kapasitas Jalan Indonesia 1997

2.4.2.7 Faktor Penyesuaian Ukuran Kota

Faktor penyesuaian ukuran kota ditentukan dari tabel 2.7. Variabel masukan adalah ukuran kota, CS.

Tabel 2.7 Faktor Penyesuaian Ukuran Kota

Ukuran kota CS	Penduduk (Juta)	Faktor Penyesuaian ukuran kota, (Fcs)
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 : Manual Kapasitas Jalan Indonesia 1997

2.4.2.8 Faktor Penyesuaian Tipe Lingkungan Jalan, Hambatan Samping dan Kendaraan Tak Bermotor

Faktor Penyesuaian Tipe Lingkungan Jalan, Hambatan Samping dan Kendaraan Tak Bermotor, FRSU dihitung dengan menggunakan tabel 2.8 dibawah ini:

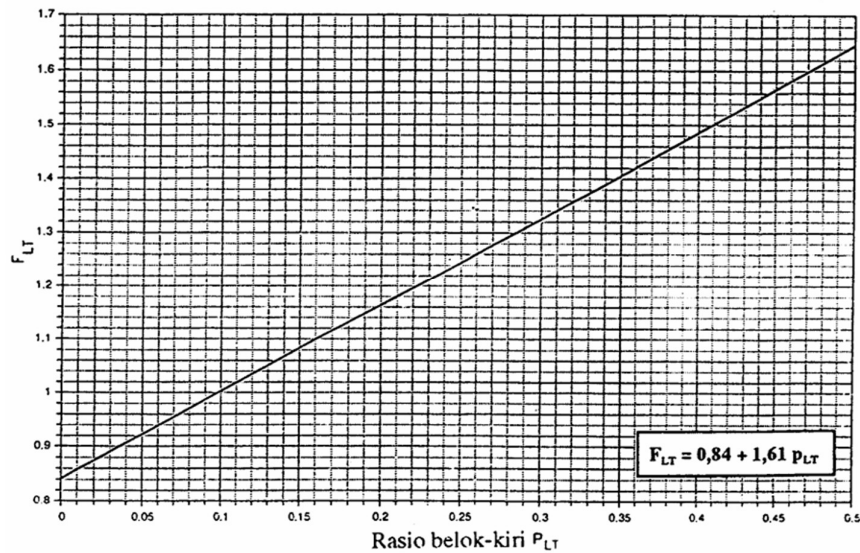
Tabel 2.8 Faktor Penyesuaian Tipe Lingkungan Jalan, Hambatan Samping dan Kendaraan Tak Bermotor

Kelas tipe lingkungan jalan RE	Kelas hambatan samping SF	Rasio kendaraan tak bermotor P _{UM}					
		0,00	0,05	0,10	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	0,70
	rendah	0,95	0,90	0,86	0,81	0,76	0,71
Permukiman	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 : Manual Kapasitas Jalan Indonesia 1997

2.4.2.9 Faktor Penyesuaian Belok Kiri

Faktor penyesuaian belok kiri ditentukan dari Gambar 2.6 dibawah ini:

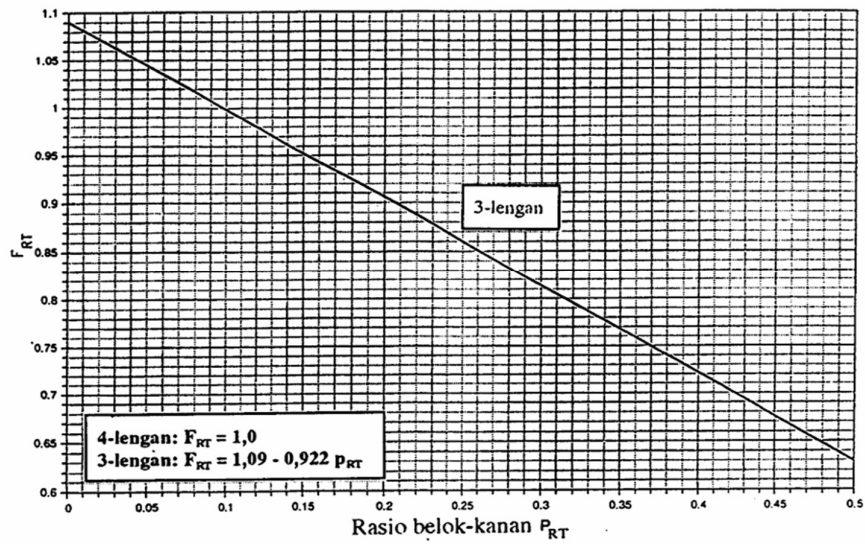


Gambar 2.6 Faktor Penyesuaian Belok Kiri

Sumber : Manual Kapasitas Jalan Indonesia 1997

2.4.2.10 Faktor Penyesuaian Belok Kanan

Faktor penyesuaian belok kiri ditentukan dari Gambar 2.7 dibawah ini:



Gambar 2.7 Faktor Penyesuaian Belok Kanan

Sumber : Manual Kapasitas Jalan Indonesia 1997

2.4.2.11 Faktor Penyesuaian Rasio Arus Jalan Minor

Faktor penyesuaian rasio arus jalan minor ditentukan dari tabel 2.9 dibawah ini:

Tabel 2.9 Faktor Penyesuaian Arus Jalan Minor

IT	F_{MI}	P_{MI}
422	$1,19 \times p_{MI}^2 - 1,19 \times p_{MI} + 1,19$	0,1 - 0,9
424	$16,6 \times p_{MI}^4 - 33,3 \times p_{MI}^3 + 25,3 \times p_{MI}^2 - 8,6 \times p_{MI} + 1,95$	0,1 - 0,3
444	$1,11 \times p_{MI}^2 - 1,11 \times p_{MI} + 1,11$	0,3 - 0,9
322	$1,19 \times p_{MI}^2 - 1,19 \times p_{MI} + 1,19$	0,1 - 0,5
	$-0,595 \times p_{MI}^2 + 0,595 \times p_{MI}^3 + 0,74$	0,5 - 0,9
342	$1,19 \times p_{MI}^2 - 1,19 \times p_{MI} + 1,19$	0,1 - 0,5
	$2,38 \times p_{MI}^2 - 2,38 \times p_{MI} + 1,49$	0,5 - 0,9
324	$16,6 \times p_{MI}^4 - 33,3 \times p_{MI}^3 + 25,3 \times p_{MI}^2 - 8,6 \times p_{MI} + 1,95$	0,1 - 0,3
344	$1,11 \times p_{MI}^2 - 1,11 \times p_{MI} + 1,11$	0,3 - 0,5
	$-0,555 \times p_{MI}^2 + 0,555 \times p_{MI} + 0,69$	0,5 - 0,9

Sumber : Manual Kapasitas Jalan Indonesia 1997

2.4.2.12 Kapasitas (C)

Kapasitas persimpangan secara menyeluruh dapat diperoleh dengan rumus

$$C = C_o \times F_W \times F_M \times F_{CS} \times F_{RSU} \times F_{LT} \times F_{RT} \times F_{MI} \dots \dots \dots (2.3)$$

Keterangan:

C : Kapasitas (smp/jam)

- C_o : Kapasitas dasar (smp/jam)
- F_W : Faktor koreksi lebar masuk
- F_M : Faktor koreksi tipe median jalan utama
- F_{CS} : Faktor koreksi ukuran kota
- F_{RSU} : Faktor penyesuaian kendaraan tak bermotor dan hambatan samping dan lingkungan jalan.
- F_{LT} : Faktor penyesuaian belok kiri
- F_{RT} : Faktor penyesuaian belok kanan
- F_{MI} : Faktor penyesuaian rasio arus jalan simpang

2.4.3 Perilaku Lalu Lintas

Perilaku lalu-lintas adalah ukuran kuantitatif yang menerangkan kondisi operasional fasilitas lalu-lintas, perilaku lalu-lintas pada umumnya dinyatakan dalam kapasitas, derajat kejenuhan dan tundaan peluang antrian.

2.4.3.1 Derajat Kejenuhan (DS)

Derajat kejenuhan merupakan rasio lalu-lintas terhadap kapasitas. Jika yang diukur adalah kejenuhan suatu simpang maka derajat kejenuhan disini merupakan perbandingan dari total arus lalu-lintas (smp/jam) terhadap besarnya kapasitas pada suatu persimpangan (smp/jam). Derajat kejenuhan dapat dihitung dengan menggunakan rumus:

$$DS = Q_{TOT}/C \dots\dots\dots(2.4)$$

Keterangan:

- DS : Derajat kejenuhan
- C : Kapasitas (smp/jam)
- Q_{TOT} : Jumlah arus total pada simpang (smp/jam)

2.4.3.2 Tundaan

Tundaan pada persimpangan adalah total waktu hambatan rata-rata yang dialami oleh kendaraan sewaktu melewati suatu simpang. Hambatan tersebut muncul jika kendaraan berhenti karena terjadinya antrian pada persimpangan sampai kendaraan itu keluar dari persimpangan karena kapasitas yang sudah tidak memadai.

1. Tundaan Lalu-lintas Simpang (DT_1)

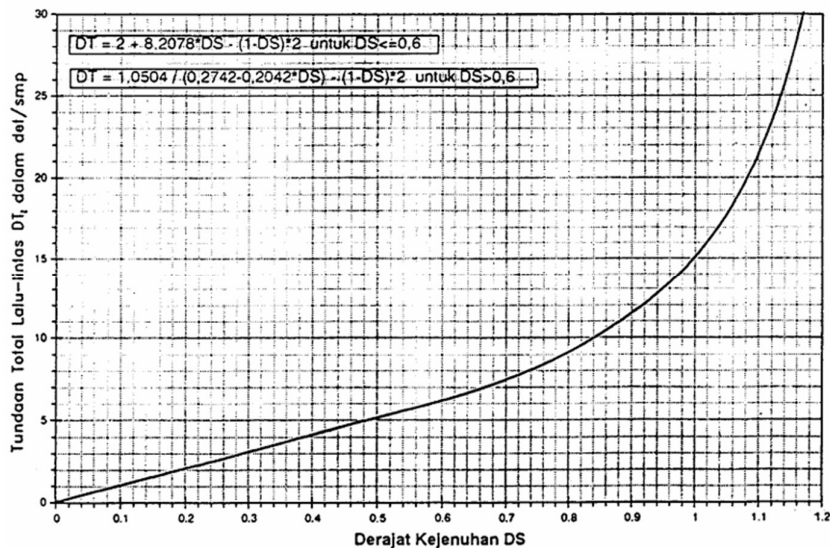
Tundaan lalu-lintas simpang adalah tundaan lalu-lintas rata-rata untuk semua kendaraan bermotor yang masuk simpang. DT_1 ditentukan dari kurva empiris antara DT_1 dan DS_1 dengan rumus:

Untuk $DS \leq 0,6$

$$DT = 2 + 8,2078 \times DS - (1 - DS) \times 2 \dots\dots\dots(2.5)$$

Untuk $DS \geq 0,6$

$$DT = 1,0504 / (0,2742 - 0,2042 \times DS) - (1 - DS) \times 2 \dots\dots\dots(2.6)$$



Gambar 2.8 Tundaan Lalu Lintas Simpang VS Derajat Kejenuhan
 Sumber : Manual Kapasitas Jalan Indonesia 1997

2. Tundaan Lalu Lintas Jalan Utama (DT_{MA})

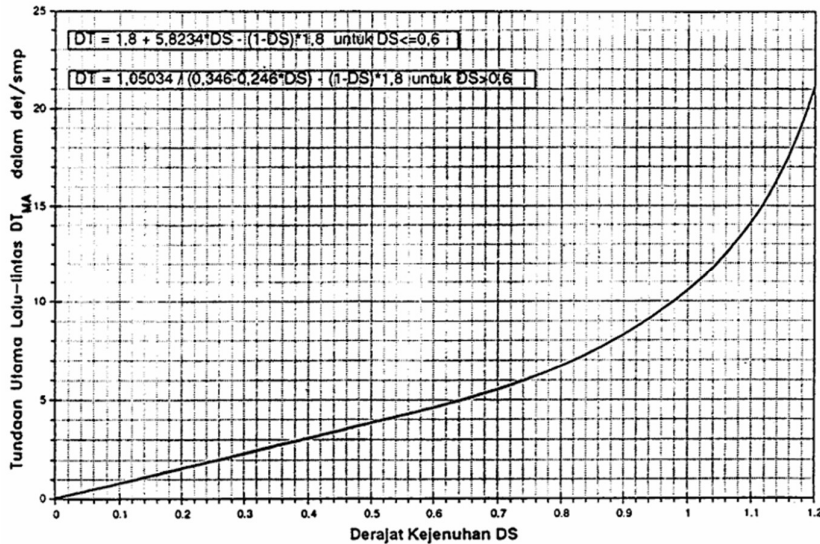
Tundaan lalu lintas jalan utama adalah tundaan lalu lintas rata-rata semua kendaraan bermotor yang masuk persimpangan dari jalan utama. DT_{MA} ditentukan dari kurva empiris antara DT_{MA} dan DS:

Untuk $DS < 0,6$

$$DT_{MA} = 1,8 + 5,8234 \times DS - (1 - DS) \times 1,8 \dots\dots\dots(2.7)$$

Untuk $DS > 0,6$

$$DT_{MA} = 1,05034 / (0,346 - 0,246 \times DS) - (1 - DS) \times 1,8 \dots\dots\dots(2.8)$$



Gambar 2.9 Tundaan Lalu Lintas Jalan Utama VS Derajat Kejuhan
Sumber : Manual Kapasitas Jalan Indonesia 1997

3. Penentuan Tundaan Lalu Lintas jalan minor (DT_{MI})

Tundaan lalu lintas jalan minor rata-rata ditentukan berdasarkan tundaan simpang rata-rata dan tundaan jalan utama rata-rata:

$$DT_{MI} = (Q_{TOT} \times DT_I) - (Q_{MA} \times DT_{MA}) / Q_{MI} \dots\dots\dots(2.9)$$

4. Tundaan Geometrik Simpang (DG)

Tundaan geometrik simpang adlah tundaan seluruh kendaraan bermotor masuk simpang.

Untuk $DS < 1,0$

$$DS = (1 - DS) \times (P_T \times 6 + (1 - P_T) \times 3) + DS \times 4(\text{det/smp}) \dots \dots \dots (2.10)$$

Untuk $DS > 1,0$

$$DG = 4 \dots \dots \dots (2.11)$$

Dimana:

DG : Tundaan geometrik simpang

DS : Derajat kejenuhan

P_T : Rasio belok total

5. Tundaan Simpang (D)

Tundaan simpang dihitung sebagai berikut:

$$D = DG + DT_I(\text{det/smp}) \dots \dots \dots (2.12)$$

Dimana:

DG : Tundaan geomterik simpang

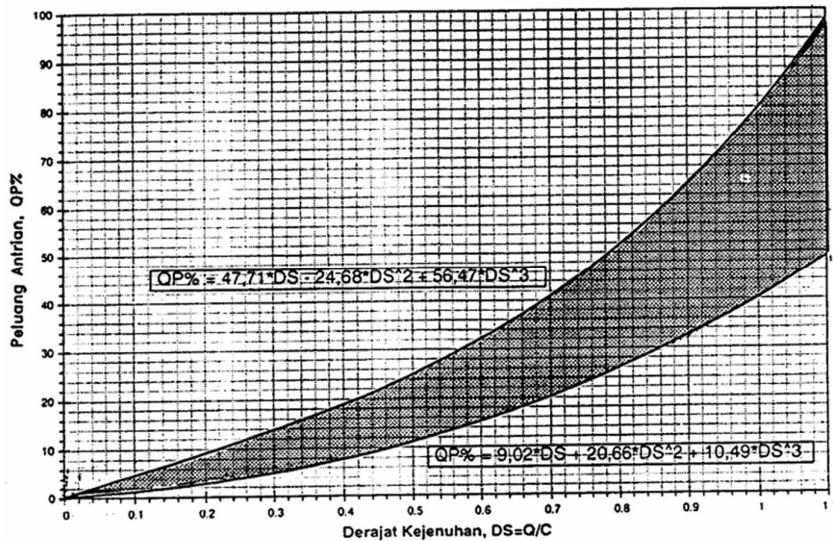
DT_I : Tundaan geometrik simpang

2.4.3.3 Peluang Antrian (QP)

Rentang nilai peluang antrian ditentukan dari hubungan empiris antara peluang antrian dan derajat kejenuhan, dapat dilihat pada Gambar 2.10.

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

$$\text{Batas atas } QP \% = 47,71 \times DS - 24,68 \times DS^2 + 56,47 \times DS^3 \dots \dots \dots (2.14)$$



Gambar 2.10 Rentang peluang antrian (QP%) terhadap derajat kejenuhan
 Sumber : Manual Kapasitas Jalan Indonesia 1997

2.5 Simbang Bersinyal

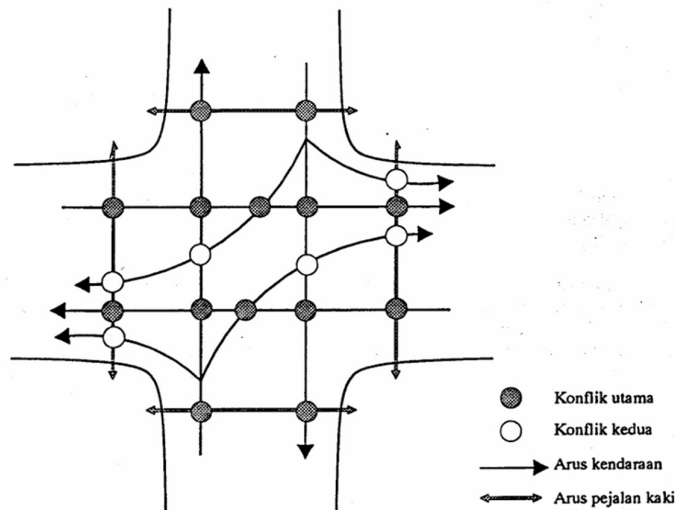
Simbang bersinyal adalah suatu persimpangan yang terdiri dari beberapa lengan dan di lengkapi dengan pengaturan sinyal lampu lalu lintas (Traffic Light). Berdasarkan MKJI 1997, adapun tujuan penggunaan sinyal lampu lalu lintas (Traffic Light) pada persimpangan antara lain:

1. Menghindari kemacetan simbang akibat adanya konflik arus lalu lintas kendaraan dari masing-masing lengan.
2. Memberi kesempatan kepada kendaraan/dan pejalan kaki yang berasal dari jalan kecil untuk memotong ke jalan utama.
3. Untuk mengurangi jumlah kecelakaan lalu lintas akibat tabrakan antara kendaraan-kendaraan dari arah yang bertentangan.

Kinerja simbang dapat dilihat dari beberapa parameter pada persimpangan. Salah satu parameter ini adalah waktu tundaan per mobil yang dialami oleh arus yang melalui simbang. Tundaan terdiri atas tundaan geometri (geometric delay) dan tundaan lalu lintas (Traffic delay). Parameter persimpangan lain adalah angka

henti dan rasio kendaraan terhenti pada suatu sinyal. Nilai angka henti merupakan jumlah berhenti kendaraan rata-rata akibat adanya hambatan simpang, juga termasuk kendaraan berhenti berulang-ulang dalam suatu antrian. Sedangkan rasio kendaraan yang terhenti sebelum mencapai garis henti. Kendaraan yang berhenti ini akibat adanya pengendalian sinyal. Hal ini yang perlu juga mendapat perhatian adalah besarnya panjang antrian kendaraan dalam suatu pendekat. Parameterparameter ini mampu menggambarkan hambatan-hambatan yang terjadi pada suatu persimpangan.

Penggunaan sinyal ini dengan lampu tiga warna pada traffic light (merah, kuning, hijau) dilakukan untuk dapat memisahkan lintasan dari gerakan-gerakan lalu lintas yang saling bertentangan dalam dimensi waktu yang terjadi bersamaan. Konflik-konflik gerakan lalu lintas di persimpangan bersinyal dapat dibagi menjadi dua, yaitu konflik-konflik utama dan konflik-konflik kedua, yang dapat dilihat pada Gambar 2.11.



Gambar 2.11 Konflik Lalu Lintas Persimpangan Bersinyal
 Sumber : Manual Kapasitas Jalan Indonesia 1997

Pada dasarnya jumlah potensial terjadinya titik-titik konflik dipersimpangan tergantung pada beberapa faktor, setiap jumlah kaki

persimpangan yang ada, 26 jumlah lajur pada setiap kaki persimpangan, jumlah pergerakan yang ada dan sistem pengaturan yang ada.

2.5.1 Karakteristik Sinyal Lalu Lintas

Sinyal lalu lintas adalah alat kontrol elektris untuk lalu lintas di persimpangan jalan yang berfungsi untuk memisahkan arus kendaraan waktu, yaitu dengan memberikan kesempatan berjalan secara bergiliran kepada kendaraan dari masing-masing kaki simpang/pendekat dengan menggunakan isyarat dari lampu lalu lintas (Amir sanjaya, Eti sulandari, said basalim, 2016). Fungsi pemisahan arus ini menjadi sangat penting karena pertemuan arus kendaraan terutama dalam volume yang cukup besar akan mengacaukan sistem lalu lintas di persimpangan.

Pengaturan arus lalu lintas pada persimpangan pada dasarnya dimaksudkan untuk bagaimana pergerakan kendaraan pada masing-masing kelompok pergerakan kendaraan (*vehicle group movements*) dapat bergerak secara bergantian sehingga tidak mengganggu antar arus yang ada. Ada berbagai jenis kendali dengan menggunakan kendali lampu lalu lintas dimana pertimbangan ini sangat bergantung pada situasi dan kondisi persimpangan yang ada seperti volume dan geometrik simpang.

Berdasarkan cakupan jenis kendali lampu lalu lintas pada persimpangan dibedakan antara lain:

1. Lampu lalu lintas terpisah (*isolated traffic signals*), yaitu lampu lalu lintas yang perhitungannya hanya didasarkan pada suatu tempat persimpangan saja tanpa mempertimbangkan persimpangan lain yang terdekat.

2. Lampu lalu lintas terkoordinasi (*coordinated traffic signals*), yaitu lampu lalu lintas yang perhitungannya mempertimbangkan beberapa simpang yang terdekat pada suatu jalur/arah tertentu.
3. Lampu lalu lintas (*networking traffic signals*), yaitu lampu lalu lintas yang perhitungannya mempertimbangkan beberapa simpang yang terdapat dalam suatu jaringan yang masih dalam suatu kawasan

Menurut MKJI 1997, dalam pengaturan dan pengoperasian sinyal lampu lalu lintas ada beberapa hal yang perlu diperhatikan antara lain:

1. Fase sinyal, yaitu bagian dari siklus sinyal dengan lampu hijau disediakan bagi kombinasi tertentu dari gerakan lalu lintas.
2. Waktu siklus, yaitu waktu untuk lengkap dari indikasi sinyal. Waktu siklus yang terlalu panjang akan menyebabkan meningkatnya keadaan rata-rata. Jika nilai rasio arus (FR) mendekati atau lebih dari satu marka simpang tersebut adalah lewat jenuh dan rumus tersebut akan menghasilkan waktu siklus yang lebih dari batas yang disarankan, maka hal ini menunjukkan bahwa kapasitas dari simpang tidak mencukupi. Hal tersebut dapat di lihat pada Tabel 2.10.

Tabel 2.10 Waktu Siklus Yang Di Sarankan

Tipe Pengaturan	Waktu Siklus Yang Layak (det)
Pengaturan 2 fase	40 - 80
Pengaturan 3 fase	50 - 100
Pengaturan 4 fase	80 - 130

Sumber : Manual Kapasitas Jalan Indonesia 1997

3. Waktu hijau (g), yaitu waktu nyala hijau dalam pendekat (detik).
Waktu hijau dibedakan menjadi 2 macam yaitu:

- a. Waktu hijau maksimum (g_{max}) adalah waktu hijau maksimal yang diijinkan dalam suatu fase untuk kendali lalu lintas aktuasi kendaraan (detik) dan,
 - b. Waktu hijau minimum (g_{min}) adalah waktu hijau minimum yang diperlukan (contoh : adanya penyeberangan jalan kaki).
4. Rasio hijau (green ratio), yaitu perbandingan antara waktu hijau dengan waktu siklus dalam suatu pendekatan.
- $(GR=g/c)$(2.15)
5. Waktu merah semua, yaitu waktu dimana sinyal merah menyala bersama dalam pendekatan-pendekatan yang dilayani oleh dua fase sinyal yang berurutan (detik),
6. Waktu hilang, yaitu jumlah semua periode antar hijau dalam siklus yang lengkap (detik). Menurut MKJI 1997 waktu antar hijau sebaiknya ditentukan dengan menggunakan metodologi yang sesuai sehingga lama nyala hijau dapat disesuaikan dengan lebar jalan yang dapat menjadikan nyala hijau yang efektif (tidak terlalu lama),
7. Waktu kuning, yaitu waktu dimana lampu kuning dinyalakan setelah hijau dalam suatu pendekatan.

Menurut Manual Kapasitas Jalan Indonesia (1997:2-23), ada beberapa pertimbangan pengaturan sinyal lalu lintas antara lain sebagai berikut:

- 1. Pengaturan waktu tetap umumnya dipilih bila simpang tersebut merupakan bagian dari sistem sinyal lalu lintas terkoordinasi.
- 2. Pengaturan sinyal aktuasi (detektor hanya dipasang pada jalan minor atau tombol penyeberangan pejalan kaki) umumnya simpang tersebut terisolir dan

terdiri dari sebuah jalan minor atau penyeberangan pejalan kaki dan berpotongan dengan jalan arteri. Pada keadaan ini sinyal selalu hijau untuk jalan utama bila tidak ada kebutuhan dari jalan minor.

3. Pengaturan sinyal aktuasi penuh dalam model pengaturan yang paling efisien untuk simpang terisolir diantara jalan-jalan dengan kepentingan dan kebutuhan lalu lintas yang sama atau hampir sama.
4. Pengaturan sinyal terkoordinasi umumnya diperlukan bila jarak antara simpang bersinyal berdekatan adalah kecil (kurang dari 200 m).

Untuk analisa operasional dan perencanaan disarankan untuk membuat suatu perhitungan rinci waktu antar hijau (IG) dan waktu hilang (LTI). Waktu antar hijau adalah periode kuning + merah semua antara dua fase sinyal yang berurutan (detik). Waktu hilang adalah jumlah semua periode antar hijau dalam 29 siklus yang lengkap (detik). Nilai normal waktu antar hijau dapat dilihat pada 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 detik/fase
Sedang	10 -14 m	5 detik/fase
Besar	≥	≥ 6 detik/fase

Sumber : Manual Kapasitas Jalan Indonesia 1997

Perhitungan waktu merah semua yang diperlukan antara pengosongan pada akhir setiap fase harus memberikan kesempatan bagi kendaraan terakhir (melewati garis henti pada akhir sinyal kuning) berangkat dari titik konflik sebelum kedatangan kendaraan yang datang pertama di fase berikutnya (melewati garis henti sinyal hijau) pada titik yang sama. Jadi, merah semua merupakan fungsi dari

kecepatan dan jarak dari kendaraan yang berangkat dan yang datang (dari garis henti sampai konflik) dan panjang dari kendaraan yang berangkat.

Titik-titik konflik pada masing-masing fase adalah titik yang menghasilkan waktu merah semua (i) terbesar dapat dilihat pada persamaan berikut :

$$\text{MERAH SEMUA (i)} = (L_{EV} + I_{EV}) V_{EV} - L_{AV} V_{AV} \dots\dots\dots(2.16)$$

Dimana:

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

I_{EV} : Panjang kendaraan yang berangkat (m)

V_{EV}, V_{AV} : Kecepatan masing-masing untuk kendaraan yang berangkat dan yang datang (m/dt).

Perhitungan waktu hilang (LTI), di hitung setelah ditetapkan periode merah semua untuk masing-masing akhir fase. Waktu hilang untuk simpang dapat dihitung sebagai jumlah dari waktu-waktu antar hijau seperti persamaan berikut :

$$LTI = \sum(\text{MERAH SEMUA} + \text{KUNING})_i = \sum I_{gi} \dots\dots\dots(2.17)$$

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

2.5.2 Lampu Lalu Lintas

Lampu lalu lintas adalah merupakan peralatan yang menjadi alat bantu dalam memberikan signal yang di operasikan secara manual ataupun otomatis. Lampu lalu lintas merupakan petunjuk yang berganti-ganti untuk memberikan dan membolehkan kendaraan untuk maju. Lampu lalu lintas terdiri dari :

- Hijau (green) artinya boleh jalan
- Kuning (yellow) artinya hati-hati
- Merah (red) artinya semua kendaraan supaya berhenti

Di Indonesia khususnya urutan lampu lalu lintas adalah hijau, kemudian kuning, lalu merah kemudian langsung hijau. Urutan ini disebut siklus sinyal (*signal cycle*) dan lamanya disebut waktu siklus (*signal cycle time approach*).

Sistem perlampuan lalu lintas menggunakan jenis nyala lampu sebagai berikut (MKJI, 1997 2-9) :

- a. Lampu hijau (*green*) : Fase untuk kendali lalu-lintas aktuasi kendaraan (det).
- b. Lampu kuning (*amber*) : Waktu di mana lampu kuning dinyalakan setelah hijau dalam sebuah pendekat (det).
- c. Lampu merah (*red*) : kendaraan yang mendapat isyarat harus berhenti sebelum di garis henti (*stop line*).

2.5.3 Arus Lalu Lintas

Dalam MKJI (1997:2-10), perhitungan arus lalu lintas dilakukan persatuan jam untuk satu atau lebih periode, misalnya didasarkan pada kondisi arus lalu lintas rencana jam puncak pagi, siang dan sore. Arus lalu lintas (Q) untuk setiap gerakan belok kiri (QLT), lurus (QST), dan belok kanan (QRT) dikonversi dari kendaraan per jam menjadi satuan penumpang (smp) per jam dengan menggunakan ekivalen kendaraan penumpang (emp) untuk masing-masing pendekat terlindung dan terlawan.

Tabel 2.12 Tipe Pendekat

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)	1,2	1,0

Sumber : Manual Kapasitas Jalan Indonesia 1997

Untuk masing-masing pendekat rasio kendaraan belok kiri (*PLT*) dan rasio belok kanan (*PRT*) di dapatkan dari rumus:

$$P_{LT} = \frac{LT(\text{smp/jam})}{\text{Total (smp/jam)}} \dots\dots\dots(2.18)$$

Total (smp/jam)

$$P_{RT} = \frac{RT(\text{smp/jam})}{\text{Total (smp/jam)}} \dots\dots\dots(2.19)$$

Total (smp/jam)

Untuk rasio kendaraan tak bermotor dengan membagi arus kendaraan tak bermotor (*QUM*) kend/jam dengan arus kendaraan bermotor (*QMV*) kend/jam didapatkan dengan rumus berikut:

$$P_{UM} = \frac{Q_{UM}}{Q_M} \dots\dots\dots(2.20)$$

2.6 Perhitungan Simpang Bersinyal

2.6.1. Data masukan

Metode untuk analisa simpang bersinyal yang diuraikan dibawah ini, didasarkan pada prinsip-prinsip utama sebagai berikut:

2.6.1.1 Geometri

Perhitungan dikerjakan secara terpisah untuk setiap pendekat, yaitu dipisahkan menjadi dua atau lebih sub-pendekat. Hal ini terjadi jika gerakan belok

kanan atau belok kiri mendapat sinyal hijau pada fase yang berlainan dengan lalu lintas yang lurus, atau jika dipisahkan secara fisik dengan pulau-pulau lalu lintas dalam pendekat. Untuk masing-masing pendekat atau sub-pendekat lebar efektif ditetapkan dengan mempertimbangkan denah dari bagian masuk dan ke luar suatu simpang dan distribusi dari gerakan-gerakan membelok.

2.6.1.2 Model dasar

Kapasitas pendekat simpang bersinyal dapat dinyatakan sebagai berikut:

$$C = S \times g/c \dots\dots\dots(2.21)$$

Dimana:

C : Kapasitas (smp/jam).

S : Arus Jenuh, yaitu arus berangkat rata-rata dari antrian dalam pendekat selama sinyal hijau (smp/jam hijau = smp/jam hijau).

g : Waktu hijau (det).

c : Waktu siklus, yaitu selang waktu untuk urutan perubahan sinyal yang lengkap (yaitu antara dua awal hijau yang berurutan pada fase yang sama).

Oleh karena itu perlu diketahui atau ditentukan waktu sinyal dari simpang agar dapat menghitung kapasitas dan ukuran perilaku lalu lintas lainnya.

2.6.1.3 Penentuan Waktu Sinyal

1. Tipe pendekat

Pendekat merupakan daerah dari suatu lengan persimpangan jalan untuk kendaraan mengantri sebelum keluar melewati garis henti. Apabila gerakan lalu lintas kekiri atau kekanan dipisahkan dengan pulau lalu lintas, sebuah lengan persimpangan jalan dapat mempunyai dua pendekat yaitu pendekat terlindung (P) atau terlawan (O).

2. Lebar pendekat efektif

Lebar pendekat efektif (W_e) dari setiap pendekat berdasarkan informasi tentang lebar pendekat (W_A), lebar masuk (W_{MASUK}) dan lebar keluar (W_{KELUAR}). Untuk pendekat tanpa belok kiri langsung (LTOR), lebar efektif (W_e) adalah lebar W_{MASUK} . Sedangkan pendekat dengan belok kiri langsung (LTOR) lebar efektif (W_e) dapat di hitung untuk pendekat dengan pulau lalu lintas, penentuan lebar masuk (W_{MASUK}). Pada keadaan terakhir $W_{MASUK} = W_A - W_{LTOR}$.

3. Arus jenuh dasar (S_o)

Arus jenuh dasar adalah besarnya keberangkatan antrian didalam pendekat selama kondisi ideal (smp/jam hijau). Untuk pendekat tipe P (arus terlindung)
 $S_o = 600 \times W_e$ smp/jam.....(2.22)

Dimana:

S_o : Arus jenuh dasar (smp/jam).

W_e : Lebar jalan efektif (m).

4. Faktor penyesuaian Arus Jenuh

a. Faktor penyesuaian ukuran kota (FCS)

Ditentukan berdasarkan data dari Biro Pusat Statistik pada kota yang ditinjau. Faktor penyesuaian ukuran kota dapat dilihat pada Tabel 2.13.

Tabel 2.13 Faktor penyesuaian Ukuran Kota pada Simpang Bersinyal

Penduduk Kota (Juta jiwa)	Faktor Penyesuaian Ukuran Kota
> 3,0	1,05
1,0 - 3,0	1
0,5 - 1,0	0,94
0,1 - 0,5	0,83
< 0,1	0,82

Sumber : Manual Kapasitas Jalan Indonesia 1997

b. Faktor penyesuaian hambatan samping (FSF)

Merupakan fungsi dari tipe lingkungan jalan, tingkat hambatan samping dan rasio kendaraan tak bermotor. Jika gangguan samping tidak diketahui dapat diasumsikan nilai yang tinggi agar tidak terjadi over estimate untuk kapasitas. Faktor penyesuaian hambatan samping dapat dilihat pada tabel 2.14.

Tabel 2.14 Faktor Penyesuaian Hambatan Samping (FSF)

Lingkungan Jalan	Hambatan Samping	Tipe fase	Rasio kendaraan tak bermotor PUM					
			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
		Terlindung	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
		Terlindung	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
		Terlindung	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
		Terlindung	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
		Terlindung	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
		Terlindung	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
		Terlindung	1,00	0,98	0,95	0,93	0,90	0,88

Sumber : Manual Kapasitas Jalan Indonesia 1997

c. Faktor penyesuaian kelandaian

Karena tidak terdapat kelandaian dengan nilai 0 (nol) pada masing-masing pendekat, maka factor kelandaian dianggap 1,00.

d. Faktor penyesuaian parkir (FP)

Jarak dari garis henti ke kendaraan yang parkir pertama dan lebar pendekat ditentukan dari persamaan dibawah ini:

$$FP = [\{LP/3 - \{WA - 2\} \times \{LP/3 - g\} / WA\} / g] \dots \dots \dots (2.23)$$

Dimana:

LP : Jarak antara garis henti dan kendaraan yang di parkir pertama (m)
panjang dari lajur pendek.

WA : Lebar pendekat (m).

g : Waktu hijau pendekat (nilai normal 26 detik).

e. Faktor penyesuaian belok kanan (FRT)

Ditentukan sebagai fungsi kendaraan belok kanan (PRT)

Catatan : Faktor penyesuaian belok kanan (FRT) hanya berlaku untuk pendekat tipe arus terlindung, jalan dua arah, lebar efektif ditentukan oleh lebar masuk.

$$FRT = 10 - PRT \times 0,26 \dots \dots \dots (2.24)$$

f. Faktor penyesuaian belok kiri (FLT)

Faktor penyesuaian belok kiri (PLT) dengan pendekat terlindung (pendekat tipe P) tanpa belok kiri langsung (LTOR) dan lebar efektif ditentukan oleh lebar masuk dapat digunakan dengan persamaan berikut:

$$FLT = 10 - PLT \times 0,16 \dots \dots \dots (2.25)$$

Ada pendekat-pendekat terlindung tanpa menyediakan belok kiri langsung, kendaraan yang belok kiri cenderung melambat dan mengurangi arus jenuh pendekat tersebut. Karena arus berangkat dalam pendekat tipe O (terlawan) pada umumnya lebih lambat, maka tidak perlu penyesuaian untuk rasio belok kiri.

g. Hitung nilai arus jenuh yang disesuaikan

Nilai arus jenuh yang disesuaikan dihitung sebagai :

$$S = S_o \times F_{cs} \times F_{sf} \times F_g \times F_p \times F_{RT} \times F_{LT} \dots \dots \dots (2.26)$$

5. Perbandingan Arus dengan Arus Jenuh

Perhitungan perbandingan arus (Q) dengan arus jenuh (S) untuk tiap pendekatan dirumuskan sebagai berikut:

$$FR = Q/S \dots\dots\dots(2.27)$$

Dimana:

FR = Rasio arus

Q = Arus lalu lintas (smp/jam)

S = Arus Jenuh (smp/jam hijau)

Untuk rasio arus simpang (IFR) dirumuskan sebagai berikut :

$$IFR = \sum(FR_{crit}) \dots\dots\dots(2.28)$$

Keterangan:

IFR : Rasio arus simpang

FR_{crit} : Rasio arus kritis

Perhitungan perbandingan fase (phase ratio, PR) untuk tiap fase merupakan suatu fungsi perbandingan antara F_{crit} dengan IFR. Untuk arus kritis dirumuskan sebagai berikut:

$$PR = F_{crit} / IFR \dots\dots\dots(2.29)$$

dimana:

PR : Rasio fase

F_{crit} : Rasio arus kritis

IFR : Rasio arus simpang

6. Waktu siklus dan Waktu sinyal

a. Waktu siklus sebelum penyesuaian

$$C_{ua} = (1,5 \times LTI + 5) / (1 - IFR) \dots\dots\dots(2.30)$$

Keterangan:

Cua : Waktu siklus sebelum penyesuaian sinyal (det).

LTI : Waktu sinyal total persklus (det).

IFR : Rasio arus simpang $\sum(FRcrit)$.

b. Waktu hijau

$$g_i = (Cua - LTI) \times PR_i \dots\dots\dots(2.31)$$

Dimana:

g_i : Tampilan waktu hijau pada fase i (det).

Cua : Waktu siklus sebelum penyesuaian (det).

LTI : Waktu hilang total per siklus.

PR_i : Rasio fase $FRcrit / \sum(FRcrit)$.

c. Waktu siklus yang disesuaikan

$$c = \sum g + LTI \dots\dots\dots(2.32)$$

Dimana:

c : Waktu siklus (det).

$\sum g$: Total waktu hijau (det).

LTI : Waktu hilang (det).

2.6.1.4 Kapasitas

Kapasitas untuk tiap lengan simpang dihitung dengan formula berikut :

$$C = S \times g/c \dots\dots\dots(2.33)$$

Dimana:

C : Kapasitas (smp/jam)

S : Arus jenuh (smp/jam)

g : Waktu hijau (detik)

c : Waktu siklus yang ditentukan (detik)

Dari hasil perhitungan dapat dinilai derajat kejenuhan dengan rumus sebagai berikut :

$$DS = Q / C \dots\dots\dots(2.34)$$

Dimana:

DS : Derajat jenuh

Q : Arus lalu lintas (smp/jam)

C : Kapasitas (smp/jam)

2.6.1.5 Perilaku Lalu Lintas

1. Panjang antrian

Jumlah rata-rata antrian smp pada awal sinyal hijau (NQ) dihitung sebagai jumlah smp yang tersisa dari fase hijau sebelumnya (NQ1) ditambah jumlah smp yang datang selama fase merah (NQ2)

$$NQ = NQ_1 + NQ_2 \dots\dots\dots(2.35)$$

$$NQ_1 = 0,25 \times C [(DS - 1) + \sqrt{(DS - 1)^2 + 8x (DS - 0,5) c}] \dots\dots\dots(2.36)$$

Jika $DS > 0,5$, selain dari nilai itu $NQ_1 = 0$

$$NQ_2 = c \times \frac{1 - GR}{1 - GR \times DS} \times Q \times 3600 \dots\dots\dots(2.37)$$

Dimana:

NQ1 : Jumlah smp yang tertinggal dari fase hijau sebelumnya.

NQ2 : Jumlah smp yang datang selama fase merah.

DS : Derajat kejenuhan.

GR : Rasio hijau.

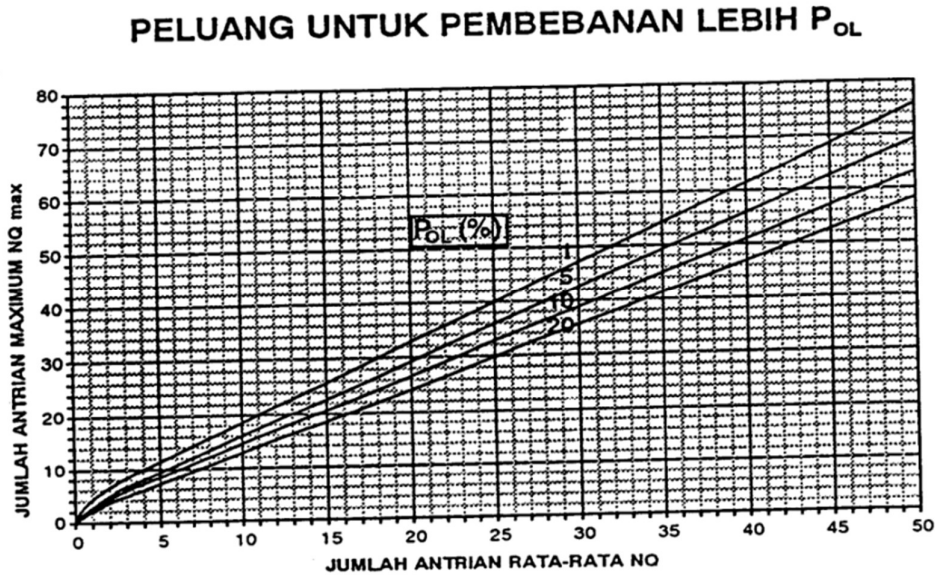
c : waktu siklus (det).

C : kapasitas.

Q : Arus lalu lintas pada pendekat tersebut (smp/det).

Panjang antrian (QL) diperoleh dari perkalian (NQ) dengan luas rata-rata yang dipergunakan per smp (20 m²) dan pembagian dengan lebar masuk.

$$QL = NQ_{MAX} \times 20 W_{MASUK} \dots\dots\dots(2.38)$$



Gambar 2.12 Perhitungan jumlah antrian NQ_{MAX} dalam smp
 Sumber : Manual Kapasitas Jalan Indonesia 1997

2. Angka henti

Angka henti (NS), yaitu jumlah berhenti rata-rata per kendaraan (termasuk berhenti terulang dalam antrian) sebelum melewati suatu simpang, dihitung sebagai berikut:

$$NS = 0,9 \times (NQ / Q \times c) \times 3600 \dots\dots\dots(2.39)$$

Dimana, c adalah waktu siklus (det) dan Q arus lalu lintas (smp/jam) dari pendekat yang ditinjau.

3. Jumlah kendaraan terhenti

Hitung jumlah kendaraan terhenti masing-masing pendekat, seperti rumus sebagai berikut:

$$N_{sv} = Q \times NS \text{ (smp/jam)} \dots\dots\dots(2.40)$$

4. Angka henti seluruh simpang

Hitung angka henti seluruh simpang dengan cara membagi jumlah kendaraan terhenti pada seluruh pendekat dengan arus simpang total Q dalam kend/jam, seperti rumus dibawah ini:

$$N_{STOT} = \frac{\sum N_{sv}}{Q_{tot}} \dots\dots\dots(2.41)$$

5. Tundaan

Tundaan pada suatu simpang dapat terjadi karena dua hal:

- a. TUNDAAN LALU LINTAS (DT), karena interaksi lalu lintas dengan gerakan lainnya pada suatu simpang.
- b. TUNDAAN GEOMETRI (DG), karena perlambatan dan percepatan saat membelok pada suatu simpang atau terhenti karena lampu merah.

Tundaan rata-rata untuk suatu pendekat j dihitung sebagai berikut :

$$DT = c \times A + \frac{NQ1 \times 3600}{c} \dots\dots\dots(2.42)$$

Dimana:

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

c : Waktu siklus yang disesuaikan (det)

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

GR : Rasio hijau (g/c)

DS : Derajat Kejenuhan

NQ1 : Jumlah kendaraan yang tersisa dari fase hijau sebelumnya

C : Kapasitas

Tundaan geometri rata-rata pada suatu pendekat j dapat diperkirakan sebagai berikut :

$$DG_j = (1 - P_{SV}) \times P_T \times 6 + (P_{SV} \times 4) \dots \dots \dots (2.43)$$

Dimana:

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

P_{SV} : Rasio kendaraan terhenti pada suatu pendekat.

P_T : Rasio kendaraan membelok pada suatu pendekat.

Jumlah Tundaan rata-rata dapat dilihat rumus sebagai berikut :

$$D = DT + DG \dots \dots \dots (2.44)$$

Tundaan total dapat dilihat rumus sebagai berikut :

$$D \times Q \dots \dots \dots (2.45)$$

Tundaan rata-rata untuk seluruh simpang (D_1) pada suatu pendekat j dapat diperkirakan sebagai berikut :

$$D_1 = \frac{\sum(Q \times D)}{Q_{tot}} \dots \dots \dots (2.46)$$