

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Kecamatan Lubuk Pakam merupakan Ibu kota Kabupaten Deli Serdang dengan luas wilayah $\pm 31,19$ km² terdiri atas 7 kelurahan, 6 desa dan 105 Dusun/Lingkungan, peningkatan jumlah transportasi yang tidak disertai dengan perkembangan prasarana dapat menyebabkan konflik pada simpang atau bundaran. Masalah yang terjadi misalnya adalah antrian dan tundaan yang cukup panjang. Panjang antrian dapat mengganggu arus lalu lintas yang berada disekitar bundaran atau simpang. Untuk mengatasi hal tersebut dapat dilakukan dengan berbagai cara misalnya peningkatan prasarana lalu lintas dan manajemen lalu lintas yang terdiri dari manajemen kapasitas, manajemen demand, manajemen prioritas.

Keberadaan suatu simpang tidak dapat dihindari dalam sistem transportasi perkotaan, diantaranya berkaitan dengan permasalahan pergerakan kendaraan bersamaan yang terjadi secara bersamaan di simpang. Persimpangan menjadi salah satu bagian yang harus diperhatikan dalam rangka melancarkan arus transportasi di perkotaan. Oleh karena itu, keberadaan simpang harus dikelola sedemikian rupa sehingga dapat menunjang kelancaran pergerakan arus lalu lintas. Salah satu cara yang dapat dilakukan untuk menghilangkan konflik di persimpangan adalah dengan mengatur pergerakan yang terjadi pada area tersebut. Persimpangan juga merupakan titik konflik pergerakan lalu lintas terbanyak pada persimpangan yang sering menimbulkan berbagai hambatan-hambatan lalu lintas. Hambatan-hambatan tersebut timbul akibat persimpangan adalah tempat bertemunya kendaraan-kendaraan dari berbagai arah dan merupakan tempat bagi kendaraan yang merubah arah. (Wahyu Eko,2014)

Kemacetan adalah situasi atau keadaan tersendatnya atau bahkan terhentinya lalu lintas yang disebabkan oleh banyaknya jumlah kendaraan melebihi kapasitas jalan. Kemacetan banyak terjadi di kota-kota besar yang tidak mempunyai

transportasi public yang memadai ataupun tidak seimbangya kebutuhan jalan dengan kepadatan penduduk.

Bundaran merupakan daerah jalanan yang mampu mendistribusikan arus lalu lintas dengan volume lalu lintas rendah hingga medium. Pada kondisi arus lalu lintas medium bundaran mampu mengurangi tundaan dan memberikan pergerakan kendaraan masuk ke daerah jalinan akan mengalami *merging* atau *waving* dengan kecepatan yang relatif rendah. Bundaran banyak di aplikasikan sebagai alternatif simpang tak bersinyal hampir di berbagai negara baik dengan pengoperasian lalu lintas campuran ataupun lalu lintas homogen. Bundaran memberikan kapasitas lebih baik dibandingkan dengan simpang tak bersinyal pada kondisi volume lalu lintas rendah. Pada lalu lintas homogen banyak penelitian terdahulu telah mempelajari karakteristik arus lalu lintas pada bundaran. Kebanyakan studi terdahulu mempelajari karakteristik arus lalu lintas bundaran dengan mengkalibrasi kembali faktor ekivalensi mobil penumpang dan pengaruhnya pada kapisitas.

Bundaran Tugu Timbangan merupakan salah satu bundaran penting dikota Lubuk Pakam, yaitu menghubungkan jalan antar Kecamatan tetapi juga menjadi salah satu jalan lintas Provinsi, berdasarkan permasalahan tersebut, maka penyusun akan mencoba menganalisis kinerja pada simpang bundaran tugu Timbangan, Diharapkan dengan ada nya penelitian kinerja pada simpang bundaran tugu Timbangan, penyusun dapat menemukan usulan untuk mengatasi masalah yang timbul atau terjadi pada arus bundaran lalu lintas tersebut. Sehingga dapat menghindari kepadatan arus lalu lintas yang lebih besar akibat dari tingginya volume kendaraan yang menumpuk dari setiap bagian jalinannya. Pada survei analisis simpang bundaran digunakan cara perhitungan kapasitas yang ada di Indonesia yaitu Manual Kapasitas Jalan Indonesia 1997 (Dirjen Bina Marga, 1997). Peraturan ini mencakup beberapa metode perencanaan maupun pelaksanaan analisis fasilitas lalu lintas jalan raya yang didasarkan pada karakteristik lalu lintas Indonesia.

1.2 Identifikasi Masalah

Berdasarkan latar belakang di atas maka latar belakang peneliti dapat diidentifikasi antara lain sebagai berikut:

1. Seberapa besar kapasitas dijam tertentu
2. Berapa besar panjang antrian maksimum
3. Terjadinya konflik dipersilangan yang mengakibatkan tundaan rata-rata
4. Menghitung waktu siklus sinyal dan derajat kejenuhan pada simpang Bundaran Tugu Timbangan
5. Apakah sudah sesuai dengan panjang antrian dan tundaan yang tercantum dalam MKJI

1.3 Batasan Masalah

Untuk memperjelas permasalahan dan memudahkan dalam menganalisis maka perlu dibuat batasan-batasan. Maka batasan tersebut adalah sebagai berikut:

1. Menghitung besar kapasitas kendaraan disimpang bersinyal bundaran tugu timbangan
2. Menghitung berapa besar derajat kejenuhan disimpang bersinyal bundaran tugu timbangan
3. Menghitung panjang antrian dan tundaan

1.4 Rumusan Masalah

Berdasarkan deskripsi diatas, maka diuraikan perumusan masalah dalam penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Seberapa besar kapasitas disimpang bersinyal bundaran tugu timbangan?
2. Seberapa besar derajat kejenuhan, panjang antrian dan tundaan disimpang bersinyal bundaran tugu timbangan?
3. Apakah sudah sesuai dengan perhitungan panjang antrian dan tundaan yang tercantum dalam MKJI, pada simpang bundaran tugu timbangan tersebut dengan kondisi yang ada?

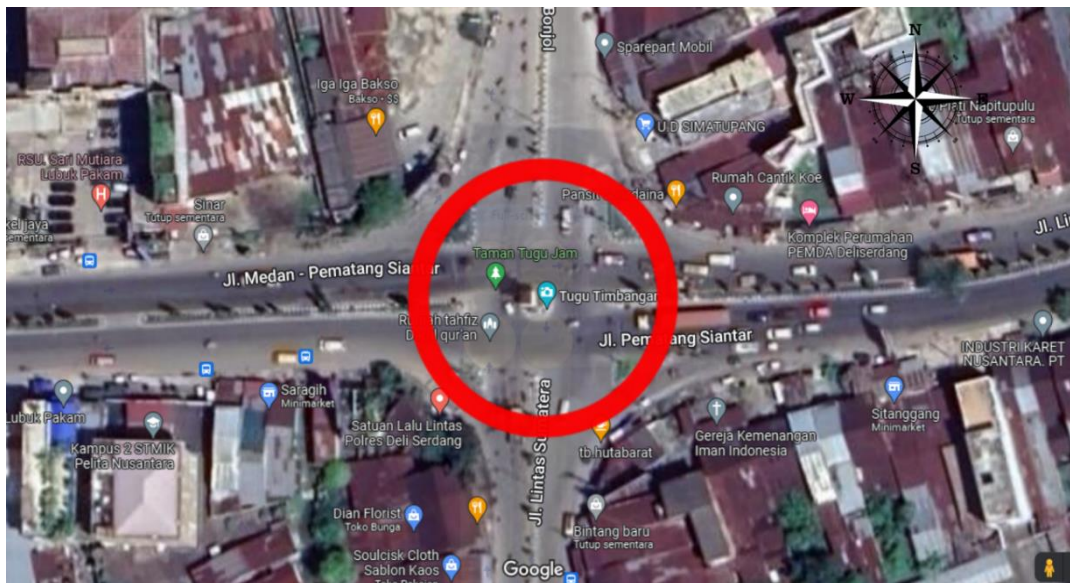
1.5 Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Untuk mengetahui karakteristik lalu lintas simpang bundaran bersinyal tugu timbangan yakni arus lalu lintas, volume lalu lintas, kecepatan, kepadatan, dan siklus sinyal pada simpang tersebut..
2. Mengetahui kinerja simpang bersinyal tugu timbangan Lubuk Pakam Meliputi: kapasitas, derajat kejenuhan, panjang antrian, tundaan
3. Dan untuk mengetahui tingkat pelayanan di simpang bundaran bersinyal tugu timbangan Lubuk Pakam pada kondisi jam puncak

1.6 Lokasi Penelitian

Lokasi penelitian adalah simpang bundaran Tugu Timbangan, Lubuk Pakam seperti pada Gambar 1.1 berikut.



Gambar 1.1 Lokasi penelitian
Sumber : *Google Maps (2022)*

1.7 Sistematis Penulisan

BAB. 1 PENDAHULUAN

Bab ini berisikan tentang penulisan.

BAB. 2 TINJAUAN PUSTAKA

Pada bab ini memuat tentang teori-teori dasar yang mendukung dan selanjutnya akan digunakan dalam pemecahan masalah.

BAB. 3 METODOLOGI PENELITIAN

Pada bab ini memuat tentang metodologi penelitian, objek penelitian, subjek penelitian, variabel penelitian, alat dan bahan penelitian, prosedur penelitian metode pengumpulan data, metode analisis data, serta diagram alur penelitian.

BAB. 4 HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada bab ini memuat tentang data-data yang diperoleh dalam penelitian yang selanjutnya akan digunakan dalam proses analisa data.

BAB. 5 KESIMPULAN DAN SARAN

Merupakan bab yang mengemukakan kesimpulan dari metode-metode analisa yang didapatkan. Serta memberikan saran-saran yang diperlukan.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Pengertian Lampu Lalu Lintas (traffic light)

Traffic light adalah lampu yang digunakan untuk mengatur kelancaran lalu lintas disuatu persimpangan dengan cara memberi kesempatan pengguna jalan masing-masing arah untuk berjalan secara bergantian. Karena fungsinya begitu penting maka lampu lalu lintas harus dikendalikan atau dikontrol semula dan seefisien mungkin guna memperlancar arus lalu lintas disuatu persimpangan jalan. Lampu lalu lintas berfungsi untuk mengurangi adanya konflik antara berbagai pergerakan lalu lintas dengan cara memisahkan pergerakan-pergerakan tersebut dari segi ruang maupun waktu, dengan cara demikianlah kapasitas pertemuan jalan dan tingkat keselamatan pemakai jalan akan meningkat. Dalam pengaturan tersebut harus diperhatikan semua pemakai jalan termasuk pejalan kaki dan pengemudi kendaraan lambat, kadang-kadang suatu jenis angkutan tertentu seperti angkutan umum harus diperlakukan dengan khusus. Walaupun demikian perlu diingat bahwa waktu tunggu bagi suatu pergerakan adalah terbatas, maksimal 120 detik (standar Inggris)

Lampu lalu lintas menurut Oglesby dan Hicks (1982) adalah semua peralatan pengatur lalu lintas yang menggunakan tenaga listrik kecuali kedip, rambu, dan marka jalan untuk mengarahkan atau memperingatkan pengemudi kendaraan bermotor, pengendara sepeda atau pejalan kaki

Setiap pemasangan lampu lalu lintas bertujuan untuk satu atau lebih fungsi-fungsi sebagai berikut :

1. Mendapatkan gerakan lalu lintas yang teratur.
2. Meningkatkan kapasitas lalu lintas pada perempatan jalan.
3. Mengurangi frekuensi jenis kecelakaan tertentu.
4. Mengkoordinasikan lalu lintas di bawah kondisi jarak sinyal yang cukup baik, sehingga aliran lalu lintas tetap berjalan menerus pada kecepatan tertentu.
5. Memutuskan arus lalu lintas tinggi agar memungkinkan adanya penyeberangan kendaraan lain atau pejalan kaki.
6. Mengatur penggunaan jalur lalu lintas.

7. Sebagai pengendali pertemuan jalan pada jalan masuk menuju jalan bebas hambatan.
8. Memutuskan arus lalu lintas bagi lewatnya kendaraan darurat (Ambulance) atau pada jembatan gerak.

Untuk mencapai tujuan di atas, lampu lalu lintas harus di rancang dan di operasikan dengan benar. Apabila tidak, maka akan menimbulkan hal berikut :

1. Terjadinya kelambatan/tundaan (*delay*) yang tidak perlu.
2. Tundaan yang tidak perlu menyebabkan dilanggarnya pengaturan lalu lintas pengemudi.
3. Meningkatnya kecelakaan seperti kecelakaan *rear-end* dan tabrakan yang melibatkan kendaraan belok kanan apabila lampu panah hijau tidak ada.
4. Kapasitas pertemuan jalan berkurang akibat dari meningkatnya rasio antara waktu siklus dan waktu hijau yang dikarenakan bertambah banyaknya fase lampu lalu lintas.
5. Kelambatan/tundaan dan antrian kendaraan yang panjang merugikan pemakai jalan, memboroskan energi dan meningkatkan polusi maupun kebisingan.

2.1.2 Pengertian Simpang (*Intersection*)

Simpang 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).

Pengaturan lalulintas pada persimpangan merupakan hal yang paling kritis dalam pergerakan lalulintas. Pada persimpangan dengan arus lalulintas yang besar, sangat diperlukan pengaturan menggunakan lampu lalulintas. Pengaturan dengan lampu lalulintas ini diharapkan mampu mengurangi antrian yang dialami oleh kendaraan dibandingkan jika tidak menggunakan lampu lalulintas.

Identifikasi masalah menunjukkan lokasi kemacetan terletak pada persimpangan atau titik-titik tertentu yang terletak pada sepanjang ruas jalan.

Masalah-masalah yang saling terkait pada persimpangan adalah:

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

Untuk mengurangi jumlah titik konflik yang ada, dilakukan pemisahan waktu pergerakan arus lalu lintas. Waktu pergerakan arus lalu lintas yang terpisah ini disebut fase. Pengaturan pergerakan arus lalu lintas dengan fase-fase ini dapat mengurangi titik konflik yang ada sehingga diperoleh pengaturan lalu lintas yang lebih baik untuk menghindari besarnya antrian, tundaan, kemacetan dan kecelakaan.

2.1.3 Jenis-Jenis Persimpangan

Persimpangan dapat dibedakan atas dua jenis (Morlok, 1991):

2.1.3.1 Persimpangan Sebidang

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

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

1. Simpang bersinyal (*signalised intersection*) adalah persimpangan jalan yang pergerakan atau arus lalu lintas dari setiap pendekatnya diatur oleh lampu sinyal untuk melewati persimpangan secara bergilir.
2. Simpang tak bersinyal (*unsignalised intersection*) adalah pertemuan jalan yang tidak menggunakan sinyal pada pengaturannya.

Persimpangan jalan umumnya merupakan persimpangan sebidang. Pada jenis ini, titik konflik yang ditemukan adalah pada gerakan menerus memotong (*crossing*). Persimpangan ini dibagi lagi dalam beberapa jenis yaitu:

- Bercabang tiga

Persimpangan ini memiliki bentuk dasar “T” atau “Y”, yang pada prinsipnya adalah sama saja, namun yang membedakannya adalah besarnya sudut pertemuan. Bila jumlah arus lalu lintas membelok cukup besar, maka keadaan dapat diatasi dengan penambahan jalur. Pemisahan jalur bisa dilakukan dengan pemasangan pulau-pulau jalan yang mempunyai fungsi ganda, yaitu selain memisahkan jalur, juga berfungsi untuk mengurangi luas jalan yang diaspal yang tidak dilalui kendaraan. Selain itu dapat juga dimanfaatkan sebagai tempat penampungan bagi para pejalan kaki yang sedang menyeberang dan tempat untuk rambu-rambu lalu lintas yang mengatur persimpangan tersebut.

- **Bercabang empat**

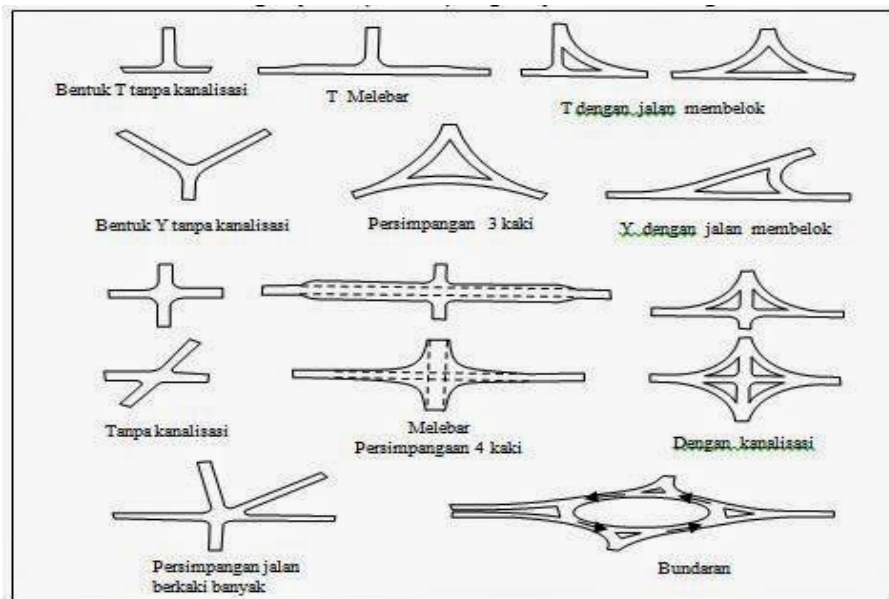
Persimpangan bercabang empat merupakan pertemuan jalan yang paling sederhana. Pada pertemuan bercabang empat dengan penambahan jalur, jalur yang ditambahkan bisa sejajar atau menyempit, tergantung dari besarnya arus lalu lintas yang melewati persimpangan tersebut. Pertemuan dengan pemisah jalur ditentukan dengan membuat pulau-pulau jalan.

- **Bercabang banyak**

Yang dimaksud dengan persimpangan sebidang bercabang banyak adalah persimpangan yang memiliki cabang lebih dari empat. Dalam pertemuan bercabang banyak ini sebaiknya dihindari karena semuanya bertemu pada satu tempat, kecuali arus lalu lintasnya sangat kecil sehingga tidak terjadi kemacetan lalu lintas.

- **Bundaran**

Sistem pertemuan dengan bundaran pada persimpangan adalah dengan menempatkan pulau jalan pada pusat pertemuan beberapa cabang, sehingga cabang-cabang tersebut tidak bertemu langsung. Adapun jenis-jenis persimpangan jalan sebidang dapat di lihat pada Gambar 2.1



Gambar 2.1: Berbagai jenis persimpangan jalan sebidang.

(Khisty,C.J.,B.Kent Lall 1998 Dalam Ahmad Deni Setiawan 2009).

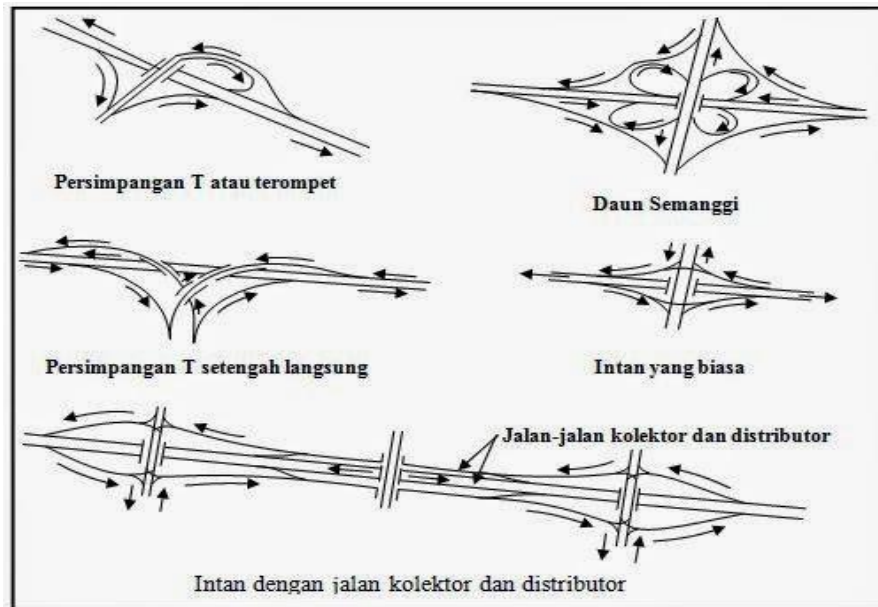
2.1.3.2 Persimpangan Tidak Sebidang

Persimpangan tidak sebidang adalah suatu bentuk khusus dari pertemuan jalan dan bisa merupakan suatu penyelesaian yang baik untuk suatu persoalan pertemuan sebidang. Berbeda dengan persimpangan jalan, maka disini disediakan paling sedikit satu hubungan antara jalan-jalan yang bertemu.

Perencanaan suatu persimpangan tidak sebidang tergantung pada beberapa faktor antara lain:

- Klasifikasi jalan raya
- Kecepatan rencana
- Volume lalu lintas
- Topografi
- Pertimbangan ekonomis
- Keselamatan dan keamanan

Pertemuan jalan tidak sebidang juga membutuhkan daerah yang luas serta penempatan dan tata letaknya sangat dipengaruhi oleh topografi. Adapun contoh simpang susun disajikan secara visual pada Gambar 2.2

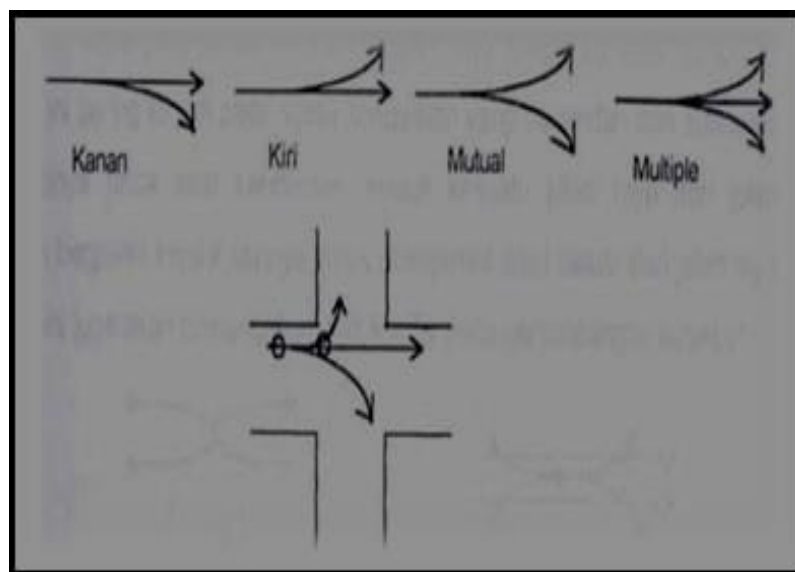


Gambar 2.2: Beberapa contoh simpang susun jalan bebas hambatan. (Khisty,C.J.,B.Kent Lall 1998 Dalam Ahmad Deni Setiawan 2009).

Pergerakan arus lalu lintas pada persimpangan juga membentuk suatu manuver yang menyebabkan sering terjadi konflik dan tabrakan kendaraan. Pada dasarnya manuver dari kendaraan dapat dibagi atas 4 jenis, yaitu:

a. *Diverging* (memisah)

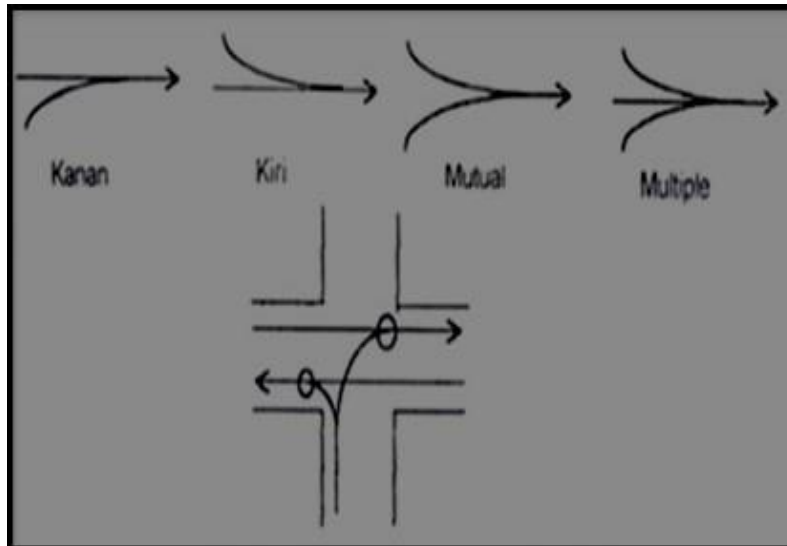
Diverging adalah peristiwa memisahkannya kendaraan dari suatu arus yang sama ke jalur yang lain, seperti yang terlihat pada Gambar 2.3



Gambar 2.3: Arus memisah (*diverging*). (MKJI 1997).

b. *Merging* (menggabung)

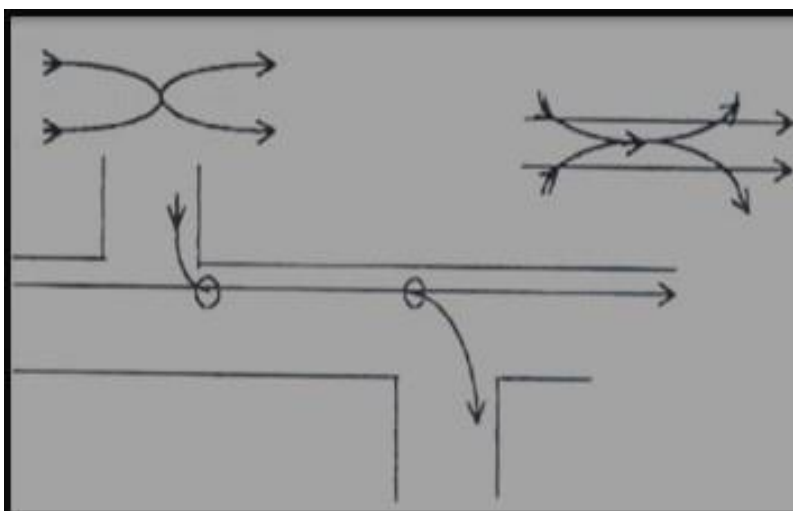
Merging adalah peristiwa menggabungkannya kendaraan dari suatu jalur ke jalur lainnya, seperti yang terlihat pada Gambar 2.4.



Gambar 2.4: Arus menggabung (*merging*). (MKJI 1997)

c. *Weaving* (menyilang)

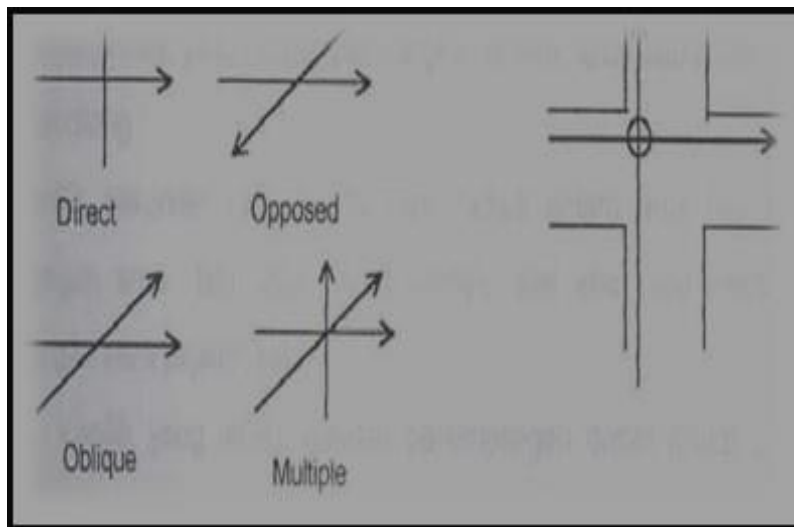
Weaving adalah pertemuan dua arus lalu lintas atau lebih yang berjalan menurut arah yang sama sepanjang suatu lintasan di jalan tanpa bantuan rambu lalu lintas, seperti yang terlihat pada Gambar 2.5.



Gambar 2.5: Arus menyilang (Weaving),(MKJI 1997)

d. *Crossing* (memotong)

Crossing adalah peristiwa perpotongan antara arus kendaraan dari suatu jalur ke jalur lain pada persimpangan dimana keadaan yang demikian akan menimbulkan titik konflik pada persimpangan tersebut, seperti yang terlihat pada Gambar 2.6.



Gambar 2.6: Arus memotong (*crossing*). (MKJI 1997).

2.1.3.3 Perencanaan Persimpangan

Pertimbangan dasar dalam perencanaan persimpangan dan operasional persimpangan adalah kemampuan dan keterbatasan pengemudi, pejalan kaki, dan kendaraan yang menggunakan fasilitas jalan tersebut. Oleh karena itu, perencanaan suatu persimpangan haruslah direncanakan dan operasikan dengan baik, sederhana dan seragam.

1. Sederhana

Suatau persimpangan haruslah dirancang sesederhana mungkin dan mudah dimengerti, sehingga tidak membuat bingung pengemudi yang melewati persimpangan tersebut. Semua pergerakan pada persimpangan harus jelas bagi pengemudi, khususnya bagi pengemudi yang tidak paham/tidak mengenal daerah tersebut, sehingga menimbulkan keraguan pengemudi yang menyebabkan terjadinya kecelakaan lalulintas.

2. Seragam

Keseragaman dalam perencanaan suatu persimpangan berhubungan langsung dengan usaha menanggulangi kekurangan yang ada pada pengemudi, kecuali pengemudi yang baru, cenderung akan mengendarai kendaraannya dengan kebiasaan yang sering dilakukannya, dan tidak benar-benar memusatkan perhatiannya pada tata cara dan bagaimana cara berkendara.

2.1.4 Karakteristik Lalulintas

Terdapat beberapa karakteristik pada lalulintas, yaitu:

2.1.4.1 Arus Lalulintas Jalan

Menurut Direktorat Jenderal Bina Marga (1997), arus lalulintas adalah jumlah kendaraan bermotor yang melalui titik tertentu persatuan waktu, dinyatakan dalam kendaraan perjam atau smp/jam. Arus lalulintas perkotaan terbagi menjadi empat (4) jenis yaitu:

a. Kendaraan ringan / *Light vehicle* (LV)

Meliputi kendaraan bermotor 2 as beroda empat dengan jarak as 2,0–3,0 m (termasuk mobil penumpang, mikrobus, pick-up, truk kecil, sesuai sistem klasifikasi Bina Marga).

b. Kendaraan berat/ *Heavy Vehicle* (HV)

Meliputi kendaraan motor dengan jarak as lebih dari 3,5 m biasanya beroda lebih dari empat (termasuk bus, truk dua as, truk tiga as, dan truk kombinasi).

c. Sepeda Motor/ *Motor cycle* (MC)

Meliputi kendaraan bermotor roda 2 atau tiga (termasuk sepeda motor dan kendaraan roda tiga sesuai sistem klasifikasi Bina Marga).

d. Kendaraan Tidak Bermotor / *Un Motorized* (UM)

Meliputi kendaraan beroda yang menggunakan tenaga manusia, hewan, dan lain-lain (termasuk becak, sepeda, kereta kuda, kereta dorong dan lain-lain sesuai sistem klasifikasi Bina Marga).

2.1.4.2 Volume Lalulintas

Volume lalulintas menunjukkan jumlah kendaraan yang melintasi suatu titik pengamatan dalam satu satuan waktu. Volume lalulintas dapat dihitung dengan menggunakan rumus (Morlok, E.K. 1991) berikut:

$$q = \frac{n}{t} \quad (2.1)$$

Dimana: q = volume lalulintas yang melalui suatu titik

n = jumlah kendaraan yang melalui titik itu dalam interval waktu pengamatan

t = interval waktu pengamatan.

2.1.4.3 Kecepatan

Kecepatan merupakan besaran yang menunjukkan jarak yang ditempuh kendaraan dibagi waktu tempuh. Kecepatan dapat diukur sebagai kecepatan titik, kecepatan perjalanan, kecepatan ruang dan kecepatan gerak. Kelambatan merupakan waktu yang hilang pada saat kendaran berhenti, atau tidak dapat berjalan sesuai dengan kecepatan yang diinginkan karena adanya sistem pengendali atau kemacetan lalulintas. Adapun rumus untuk menghitung kecepatan (Morlok, E.K. 1991):

$$V = \frac{d}{t} \quad (2.2)$$

Dimana: V = kecepatan (km/jam, m/det)

d = jarak tempuh (km, m)

t = waktu tempuh

2.1.4.4 Kepadatan

Kepadatan adalah jumlah rata-rata kendaraan persatuan panjang jalur gerak dalam waktu tertentu, dan dapat dihitung dengan rumus (Morlok, E. K. 1991) berikut:

$$K = \frac{n}{L} \quad (2.3)$$

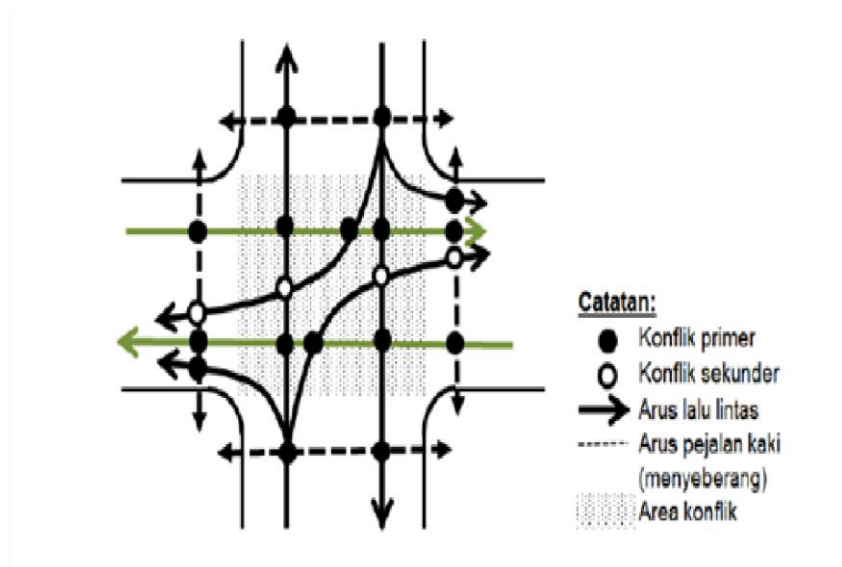
Dimana: K = kepadatan (kend/km)
 n = jumlah kendaraan di jalan
 L = panjang jalan (km)

2.1.5 Konflik Lalulintas

Konflik lalulintas di persimpangan merupakan salah satu penyebab terjadinya kemacetan lalulintas. Konflik disebabkan oleh kebutuhan akan ruang jalan yang sama pada waktu yang sama pula dari dua atau lebih pemakai jalan.

Sifat titik konflik ada dua yaitu:

1. Konflik primer, yaitu konflik yang terjadi antara arus lalulintas yang saling memotong.
2. Konflik sekunder, yaitu konflik yang terjadi antara arus lalulintas belok kiri dengan pejalan kaki.



Gambar 2.7: Konflik – konflik primer dan sekunder pada simpang bersinyal dengan empat lengan. (MKJI 1997).

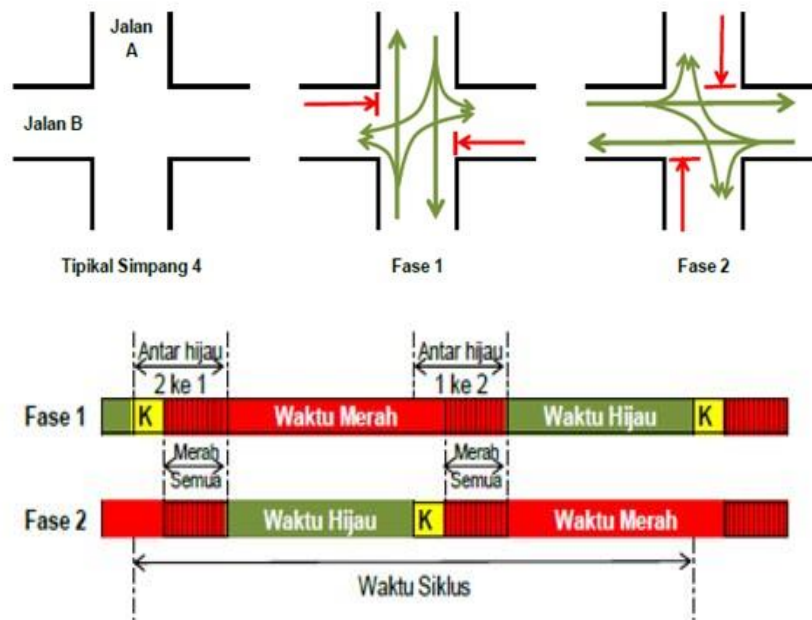
2.1.6 Pengaturan Fase

Fase sinyal adalah bagian dari siklus sinyal dengan lampu hijau disediakan bagi kombinasi tertentu dari gerakan lalu lintas (Manual Kapasitas Jalan Indonesia Tahun 1997).

Beberapa kasus pengaturan fase berdasarkan MKJI 1997:

1. Dua fase *existing*

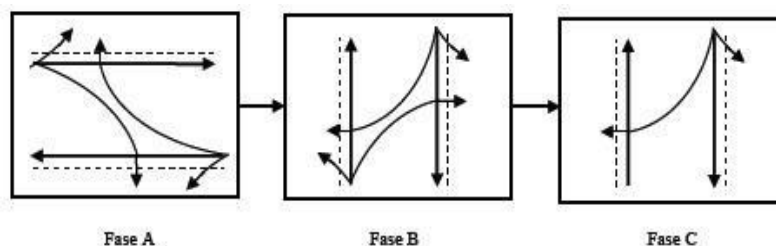
Adalah pengaturan lampu lalu lintas dengan menggunakan dua fase tanpa memisahkan arus terlawan. Pengaturan dua fase, seperti terlihat pada Gambar 2.8.



Gambar 2.8: Pengaturan dua fase. (MKJI 1997).

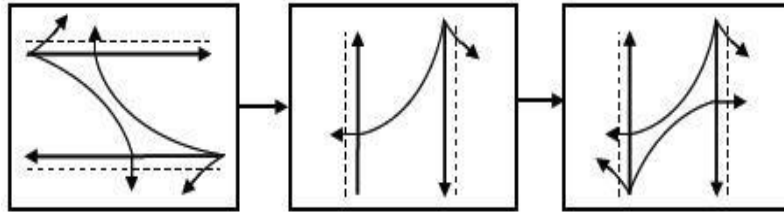
2. Tiga fase

Adalah pengaturan lampu lalu lintas dengan tiga fase pergerakan lalu lintas. Pengaturan lampu lalu lintas dengan tiga fase, seperti terlihat pada Gambar 2.9.



Gambar 2.9: Pengaturan dengan tiga fase. (MKJI 1997).

3. Tiga fase dengan *early start*

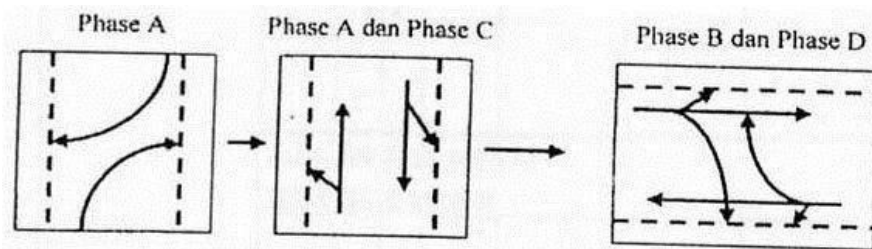


Adalah pengaturan lalu lintas dengan start dini pada salah satu pendekat, agar menaikkan kapasitas untuk belok kanan dari arah ini, seperti terlihat pada Gambar 2.9

Gambar 2.10: Pengaturan tiga fase dengan *early start*. (MKJI 1997)

4. Tiga fase dengan *early cut off*

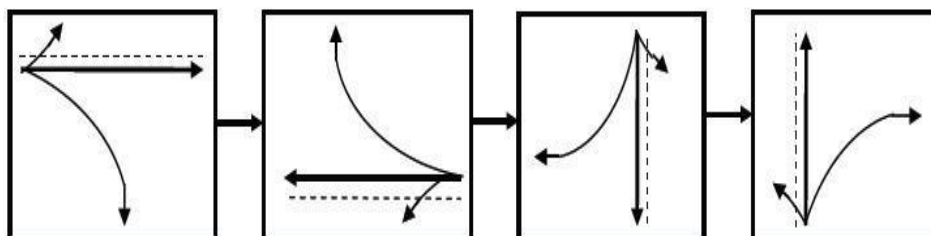
Adalah pengaturan lampu lalu lintas tiga fase dengan memutuskan lebih awal gerak belok kanan, untuk menaikkan kapasitas gerak lurus. Pengaturan tiga fase dengan *early cut off*, seperti terlihat pada Gambar 2.11



Gambar 2.11: Pengaturan tiga fase dengan *early cut off*. (MKJI 1997).

5. Empat fase

Adalah pengaturan lampu lalu lintas dengan empat fase pergerakan lalu lintas. Pengaturan empat fase seperti pada Gambar 2.12



Gambar 2.12: Pengaturan dengan empat fase. (MKJI 1997)

2.2 Kapasitas dan Tingkat Pelayanan

Dalam penganalisaan kapasitas, ada suatu prinsip dasar yang objektif yaitu perhitungan jumlah maksimum lalu lintas yang dapat ditampung oleh fasilitas yang ada, serta bagaimana kualitas operasional fasilitas tersebut didalam pemeliharaan serta peningkatan fasilitas itu sendiri yang tentunya akan sangat berguna di kemudian hari. Dalam merencanakan suatu fasilitas jalan kita jumpai suatu perencanaan agar fasilitas itu dapat mendekati kapasitasnya. Kapasitas dari suatu fasilitas akan menurun fungsinya jika diperlukan saat atau mendekati kapasitasnya.

Kriteria operasional dari suatu fasilitas diwujudkan dengan istilah tingkat pelayanan (*Level Of Service*), yaitu ukuran kualitatif yang digunakan di *Highway Capacity Manual* 1985, dan menerangkan kondisi operasional dalam arus lalu lintas dan penilaiannya oleh pemakai jalan (pada umumnya dinyatakan dalam kecepatan, waktu tempuh, kebebasan bergerak, interupsi arus lalu lintas, keenakan, kenyamanan, dan keselamatan). Setiap tipe fasilitas telah ditentukan suatu interfal dari kondisi operasional yang dihubungkan dengan jumlah lalu lintas yang mampu ditampung disetiap tingkatan.

2.2.1 Kapasitas (*Capacity*)

Kapasitas yang diidentifikasi oleh Manual Kapasitas Jalan Indonesia 1997, sebagai arus lalu lintas maksimum yang dapat dipertahankan (tetap) pada suatu bagian jalan dalam kondisi tertentu pada kondisi jalan lalu lintas dan kondisi pengendalian pada saat itu (misalnya: rencana geometrik, lingkungan, komposisi lalu lintas, dan sebagai berikut: Biasanya dinyatakan dalam kend/jam atau smp/jam). Secara umum, kapasitas dijelaskan sebagai jumlah kendaraan dalam satu jam dimana orang atau kendaraan diperkirakan dapat melewati sebuah titik atau potongan lajur jalan yang seragam selama periode waktu tertentu.

Sedangkan, kapasitas lengan persimpangan adalah tingkat arus maksimum yang dapat melewati persimpangan melalui garis berhenti (*stop line*) dan menuju keluar tanpa mengalami tundaan pada arus lalu lintas, keadaan jalan dan pengaturan lalu lintas tertentu.

Dalam penganalisaan digunakan periode waktu selama 15 menit dengan mempertimbangkan waktu tersebut interval terpendek selama arus yang ada stabil. Pada perhitungan kapasitas harus ditetapkan bahwa kondisi yang ada seperti kondisi jalan, kondisi lalu lintas dan sistem pengendalian tetap. Hal-hal yang terjadi yang membuat suatu perubahan dari kondisi yang ada mengakibatkan terjadinya perubahan kapasitas pada fasilitas tersebut. Sangat dianjurkan dalam penentuan kapasitas, perkerasan dan cuaca dalam keadaan baik.

Menurut Metode Kapasitas Jalan Indonesia (MKJI), 1997 Analisa kapasitas adalah penilaian terhadap jumlah maksimum lalu lintas yang dapat dialirkan oleh fasilitas yang tersedia. Namun begitu, analisis ini tidak berarti apa-apa jika hanya memfokuskan kepada kapasitas saja. Biasanya pemakaian terhadap fasilitas yang tersedia jarang sekali dimanfaatkan pada tingkat kapasitas penuh. Kapasitas persimpangan dengan lampu lalu lintas didasarkan pada konsep arus jenuh (*Saturation Flow*) per siklus.

Kapasitas lengan persimpangan atau kelompok lajur dinyatakan dengan persamaan yang merupakan persamaan umum dalam penentuan kapasitas untuk setiap metode.

$$C = S \times \frac{g}{c} \quad (2.4)$$

Dimana:

C = Kapasitas untuk lengan atau kelompok lajur (smp/jam)

S = Arus jenuh, yaitu arus berangkat rata-rata dari antrian dalam pendekatan selama sinyal 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).

2.2.2 Tingkat Pelayanan (*Level Of Service*)

Tingkat pelayanan menurut Metode Kapasitas Jalan Indonesia (MKJI) 1997, adalah suatu pengukuran kualitatif yang menggambarkan kondisi operasional dalam suatu aliran lalu lintas, dan persepsinya oleh pengendara atau penumpang.

Pada umumnya, tingkat pelayanan menjelaskan suatu kondisi yang dipengaruhi oleh kecepatan, waktu perjalanan, kebebasan untuk bergerak, gangguan lalulintas, kenyamanan, kenikmatan dan keamanan.

Tingkat pelayanan dibagi atas tingkatan: A, B, C, D, E dan F. Pada kondisi operasional yang paling baik dari suatu fasilitas dinyatakan dengan tingkat pelayanan A, sedangkan untuk kondisi yang paling jelek dinyatakan dengan tingkat pelayanan F. Hubungan antara besarnya tundaan henti kendaraan (detik) dengan tingkat pelayanan, dapat di lihat pada Tabel 2.1 berikut:

Tabel 2.1: Kriteria tingkat pelayanan pada persimpangan bersinyal. (MKJI 1997).

Tingkat Pelayanan	Tundaan Henti Tiap Kendaraan (detik)
A	$\leq 0,5$
B	5,1 – 15,0
C	15,1 – 25,0
D	25,1 – 40,0
E	40,1 – 60,0
F	$\geq 60,0$

2.3 Kinerja Simpang Bersinyal

2.3.1 Lampu Lalulintas

Lampu lalulintas adalah peralatan yang dioperasikan secara mekanis, atau elektrik untuk memerintahkan kendaraan-kendaraan agar berhenti atau berjalan. Peralatan standar ini terdiri dari sebuah tiang, dan kepala lampu dengan tiga lampu yang warnanya beda (merah, kuning, hijau).

Tujuan dari pemasangan lampu lalulintas MKJI (1997) adalah:

- a. Menghindari kemacetan simpang akibat adanya konflik arus lalulintas yang berlawanan, sehingga kapasitas persimpangan dapat dipertahankan selama keadaan lalulintas puncak.

- b. Menurunkan tingkat frekwensi kecelakaan.
- c. Mempermudah menyeberangi jalan utama bagi kendaraan dan/atau pejalan kaki dari jalan minor.

Lampu lalu lintas dipasang pada suatu persimpangan berdasarkan alasan spesifik (C. Jotin Khisty and B. Ken Lall, 2003):

- a. Untuk meningkatkan keamanan sistem secara keseluruhan.
- b. Untuk mengurangi waktu tempuh rata-rata disebuah persimpangan, sehingga meningkatkan kapasitas.
- c. Untuk menyeimbangkan kualitas pelayanan di seluruh aliran lalu lintas.

Pengaturan simpang dengan sinyal lalu lintas termasuk yang paling efektif, terutama untuk volume lalu lintas pada kaki simpang yang relatif tinggi. Pengaturan ini dapat mengurangi atau menghilangkan titik konflik pada simpang dengan memisahkan pergerakan arus lalu lintas pada waktu yang berbeda (Alamsyah, 2005).

Beberapa istilah yang digunakan dalam operasional lampu persimpangan bersinyal (Liliani, 2002):

- a) Siklus: satu urutan lengkap dari tampilan sinyal.
- b) Panjang siklus (*cycle length*) adalah waktu total dari sinyal untuk menyelesaikan satu siklus, diberi simbol c dalam detik.
- c) Fase (*phase*) adalah bagian dari siklus yang dialokasikan bagi setiap kombinasi pergerakan lalu lintas yang mendapat hak jalan bersamaan selama satu interval atau lebih.
- d) Interval adalah periode waktu selama indikasi sinyal tetap.
- e) Waktu hijau efektif, g adalah periode waktu hijau yang secara praktis dimanfaatkan oleh pergerakan pada fase yang bersangkutan. Besarnya durasi waktu hijau efektif adalah waktu hijau aktual ditambah waktu keuntungan akhir dikurangi waktu hilang awal, diberi simbol g_i untuk fase i (detik).
- f) Waktu hijau aktual, G adalah durasi waktu hijau yang terpasang pada lampu sinyal maupun pengendali (*controller*).
- g) Waktu antar hijau, I adalah waktu antara berakhirnya hijau suatu fase dengan berawalnya hijau fase berikutnya. Panjang waktu antar hijau diperoleh dari

waktu pengosongan dan masuk dari arus lalu lintas yang mengalami konflik dengan mengacu pada titik konflik. Kegunaan dari waktu antar hijau adalah untuk menjamin agar kendaraan terakhir suatu fase melewati titik konflik kritis sebelum kendaraan pertama fase berikutnya melewati titik yang sama.

- h) Rasio hijau, perbandingan antara waktu hijau efektif dan panjang siklus, diberi simbol g_i/c untuk fase i .
- i) Merah efektif: waktu selama suatu pergerakan atau sekelompok pergerakan secara efektif tidak diijinkan bergerak, dihitung sebagai panjang siklus dikurangi waktu hijau efektif untuk fase i .
- j) *Lost time*: waktu yang hilang dalam fase karena keterlambatan *start* kendaraan dan berakhirnya tingkat pelepasan kendaraan yang terjadi selama waktu kuning.

Keuntungan yang dapat diperoleh dari pengoperasian waktu sinyal tetap (*fixed time operation*) adalah:

- Waktu mulai (*start*) dan lama interval yang tetap sehingga memudahkan untuk mengkoordinasikannya dengan lampu lalu lintas yang berdekatan.
- Tidak dipengaruhi kondisi arus lalu lintas pada suatu waktu tertentu.
- Lebih dapat diterima pada kawasan dengan volume arus pejalan kaki yang tetap dan besar.
- Biaya instalasi yang lebih murah dan sederhana serta perawatan yang lebih mudah.

Fase sinyal dan perencanaan fase

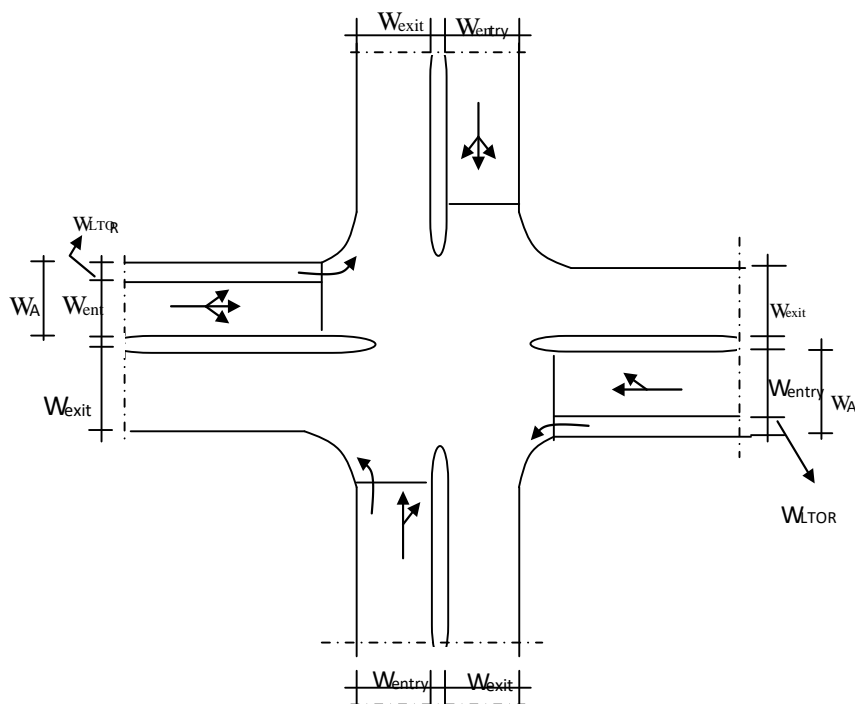
- Perencanaan fase dapat digunakan untuk meminimumkan resiko bahaya dengan memisahkan pergerakan, tetapi dengan meningkatnya jumlah fase dalam menurunkan efisiensi dan meningkatkan tundaan.
- Ada beberapa kasus dimana meningkatnya jumlah fase menghasilkan penurunan tundaan total dan meningkatnya kapasitas, karena penghapusan volume berlawanan yang menghalangi belok kanan.
- Perencanaan fase harus sesuai dengan geometrik persimpangan, penetapan pemakaian lajur, volume dan kecepatan, dan kebutuhan penyeberangan bagi pejalan kaki.

2.3.2 Geometrik Persimpangan

Geometrik persimpangan merupakan dimensi yang nyata dari suatu persimpangan. Oleh karenanya perlu di ketahui beberapa defenisi berikut ini:

1. *Approach* (kaki persimpangan), yaitu daerah pada persimpangan yang digunakan untuk antrian kendaraan sebelum menyeberangi garis henti.
2. *Approach width* (W_A) yaitu lebar *approach* atau lebar kaki persimpangan
3. *Entry Width* (Q_{entry}) yaitu lebar bagian jalan pada *approach* yang digunakan untuk memasuki persimpangan, diukur pada garis perhentian
4. *Exit width* (W_{exit}) yaitu lebar bagian jalan pada *approach* yang digunakan kendaraan untuk keluar dari persimpangan
5. *Width Left Turn On Red* ($W_{L TOR}$) yaitu lebar *approach* yang digunakan kendaraan untuk belok kiri pada saat lampu merah.

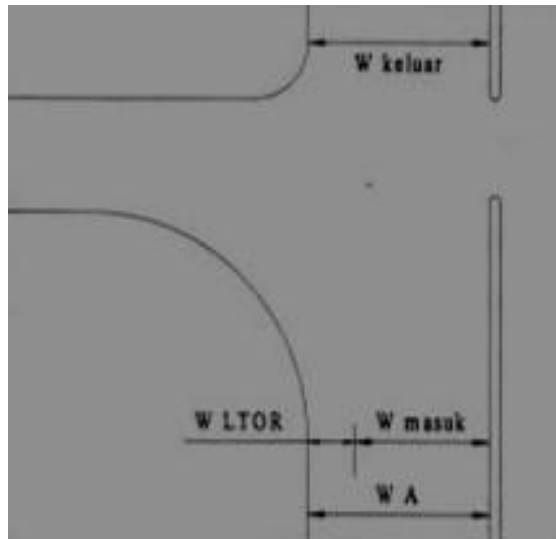
Untuk kelima hal tersebut diatas dapat dilihat dalam Gambar 2.13



Gambar 2.13: Geometrik persimpangan dengan lampu lalulintas. (MKJI 1997).

6. *Effective approach width* (W_e) yaitu lebar efektif kaki persimpangan yang dijelaskan dalam Gambar 2.14

a) untuk *approach* tipe O dan P



Gambar 2.14: Lebar efektif kaki persimpangan. (MKJI 1997).

jika $W_{L TOR} > 2$ m, maka:	$W_e = W_A - W_{L TOR}$ atau
W_e	$= W_{entry}$, (digunakan nilai terkecil)
jika $W_{L TOR} < 2$ m, maka:	$W_e = W_A$ atau
W_e	$= W_{entry}$, (digunakan nilai terkecil)

a) kontrol untuk *approach* tipe P

$$W_{exit} = W_{entry} \times (1 - P_{RT} - P_{LT} - P_{L TOR})$$

Dimana:

P_{RT} = rasio volume kendaraan belok kanan terhadap volume total

P_{LT} = rasio volume kendaraan belok kiri terhadap volume total

$P_{L TOR}$ = rasio volume kendaraan belok kiri langsung terhadap volume total.

2.3.3 Kondisi Arus Lalulintas

Arus lalulintas (Q) pada 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. Nilai emp tiap jenis kendaraan berdasarkan pendekatnya dapat dilihat dalam Tabel 2.2. berikut ini:

Tabel 2.2: Nilai emp untuk jenis kendaraan berdasarkan pendekat. (MKJI 1997).

Tipe kendaraan	Emp	
	Pendekat terlindung	Pendekat terlawan
LV	1.0	1.0
HV	1.3	1.3
MC	0.2	0.4

2.3.4 Karakteristik Sinyal dan Pergerakan Lalulintas

Persimpangan pada umumnya diatur oleh sinyal lalulintas, hal ini dikarenakan beberapa alasan, seperti faktor keselamatan dan efektivitas pergerakan dari arus kendaraan dan pejalan kaki yang saling bertemu pada saat melintasi persimpangan.

Parameter dasar dalam perhitungan pengaturan waktu sinyal secara umum meliputi parameter pergerakan, parameter waktu dan parameter ruang (geometrik). Dalam hal ini, perhitungan waktu sinyal juga termasuk perhitungan kinerja lalulintas di persimpangan seperti tundaan, antrian, dan jumlah stop.

2.3.4.1 Penggunaan Sinyal

2.3.4.1.1 Fase Sinyal

Pada persimpangan yang menggunakan lampu lalulintas, beberapa aliran lalulintas dimungkinkan untuk mendapatkan hak jalan bersamaan, sementara aliran lainnya dihentikan. Fase lampu lalulintas adalah periode dimana pada periode tersebut satu pergerakan atau lebih diberi lampu hijau secara bersamaan (Khisty, 2005). Pengaturan antar fase diatur dengan jarak waktu penyela/waktu jeda supaya terjadi kelancaran ketika pergantian antar fase.

Istilah ini disebut dengan waktu antara hijau (*intergreen*) yang berfungsi sebagai waktu pengosongan (*clearance time*). Waktu antar hijau terdiri dari waktu kuning dan waktu merah semua (*all red*).

2.3.4.1.2 Waktu Antar Hijau (*Inter Green*, IG)

Maksud dari periode antara hijau (IG = kuning + merah semua) diantara dua fase yang berurutan adalah untuk:

1. Memperingatkan lalulintas yang sedang bergerak bahwa fase sudah berakhir.
2. Menjamin agar kendaraan 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 2.3 atau rumus dibawah ini

$$IG = \text{Kuning (Amber)} + \text{All Red (AR)} \quad (2.5)$$

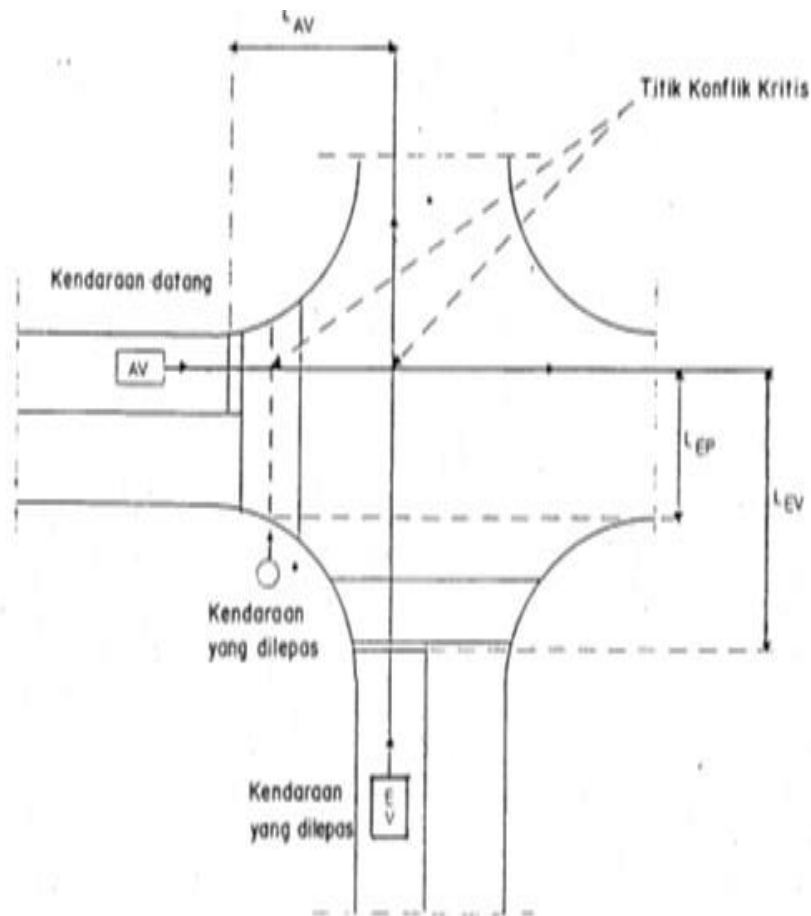
Tabel 2.3: Nilai normal waktu antara hijau. (MKJI 1997).

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

2.3.4.1.3 Waktu Merah Semua (*All Red, AR*)

Waktu merah semua 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 (Manual Kapasitas Jalan Indonesia, MKJI 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. Titik konflik dan jarak untuk keberangkatan dan kedatangan, seperti yang terlihat pada Gambar 2.15.



Gambar 2.15: Titik konflik dan jarak untuk kedatangan dan keberangkatan. (MKJI 1997)

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

$$\text{MERAH SEMUA} = \frac{L_{EV} + l_{EV}}{V_{EV}} - \frac{L_{AV}}{V_{AV}} \quad (2.6)$$

Dimana:

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).

2.3.4.1.4 Waktu Kuning (Amber)

Mendasari PP. 43/1993 Pasal 29 ayat 3 dijelaskan bahwa cahaya berwarna kuning, menyala sesudah cahaya berwarna hijau, menyatakan kendaraan yang belum sampai pada marka melintang dengan garis utuh bersiap untuk berhenti.

Manual Kapasitas Jalan Indonesia, MKJI 1997:

Dianjurkan amber = 3 detik, untuk jalan
dengan kecepatan tinggi = 5 detik

2.3.4.1.5 Waktu Hilang (Lost Time, LTI)

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

$$LTI = \sum (\text{MERAH SEMUA} + \text{KUNING}) I = \sum I g_i \quad (2.7)$$

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

Dalam system lama, pola waktu yang sama digunakan sepanjang hari/minggu, pada system yang lebih modern, rencana waktu sinyal yang berbeda yang ditetapkan sebelumnya, dan digunakan untuk kondisi yang berbeda pula.

2.3.4.2 Penentuan Waktu Sinyal

2.3.4.2.1 Tipe Pendekat Efektif

Pendekat merupakan daerah dari lengan persimpangan jalan untuk mengantri sebelum keluar melewati garis henti. Sebuah lengan persimpangan dapat mempunyai lebih dari satu pendekat bila gerakan belok kiri atau belok kanan dipisahkan dengan pulau lalulintas.

Tipe pendekat pada persimpangan bersinyal umumnya dibedakan atas dua macam yaitu:

- a. Tipe terlindung (tipe P) yaitu pergerakan kendaraan pada persimpangan tanpa terjadi konflik antar kaki persimpangan yang berbeda saat lampu hijau pada fase yang sama.
- b. Tipe terlawan (tipe O) yaitu pergerakan kendaraan pada persimpangan dimana terjadi konflik antara kendaraan berbelok kanan dengan kendaraan yang bergerak lurus atau belok kiri dari approach yang berbeda saat lampu hijau pada fase yang sama.

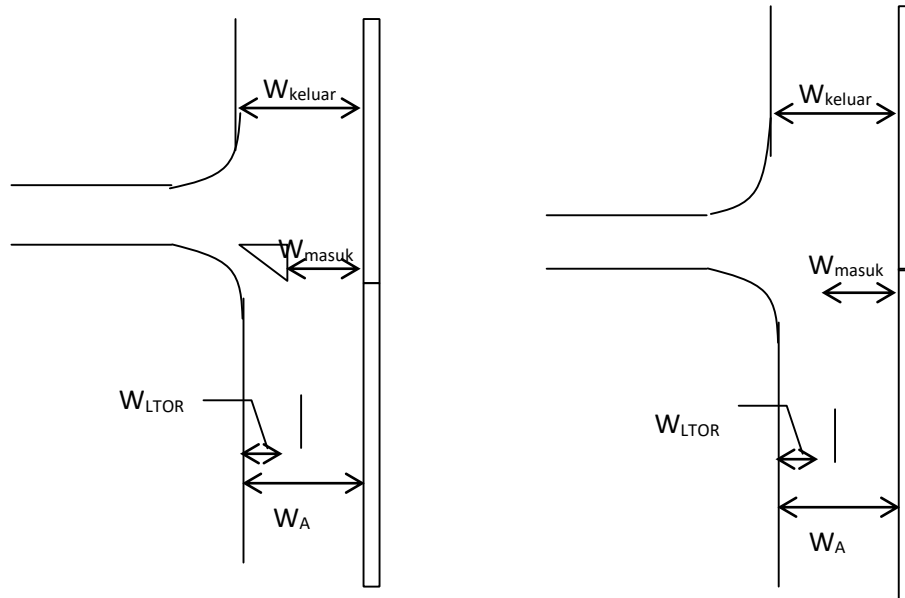
2.3.4.2.2 Lebar Pendekat Efektif

Lebar pendekat yaitu lebar dari bagian pendekat yang diperkeras diukur di bagian tersempit sebelah hulu. Lebar efektif yaitu lebar dari bagian pendekat yang diperkeras, yang diperlukan dalam perhitungan kapasitas.

Lebar efektif (W_e) dari setiap pendekat ditentukan berdasarkan informasi tentang lebar pendekat (W_A), lebar masuk (W_{masuk}), dan lebar keluar (W_{keluar}) serta rasio arus lalulintas berbelok.

- a. Prosedur untuk pendekat tanpa belok kiri langsung (LTOR).
Jika $W_{keluar} < W_e \times (1 - P_{RT} - P_{LTOR})$, W_e sebaiknya diberi nilai baru yang sama dengan W_{keluar} dan analisa penentuan waktu sinyal untuk pendekat ini dilakukan hanya untuk bagian lalulintas lurus saja ($Q = Q_{ST}$)
- b. Prosedur untuk pendekat dengan belok kiri langsung (LTOR).

Lebar efektif (W_e) dapat dihitung untuk pendekat dengan atau tanpa pulau lalulintas seperti Gambar 2.16.



Gambar 2.16: Pendekat dengan atau tanpa pulau lalulintas. (MKJI 1997).

2.3.4.3 Arus Jenuh

Metode perhitungan arus jenuh yang diberikan Manual Kapasitas Jalan Indonesia (MKIJ) 1997 ditentukan bahwa arus lalulintas yang mengalir pada saat waktu hijau dapat disalurkan oleh suatu pendekatan.

Penentuan arus jenuh dasar (S_0) untuk setiap pendekatan yang diuraikan dibawah ini :

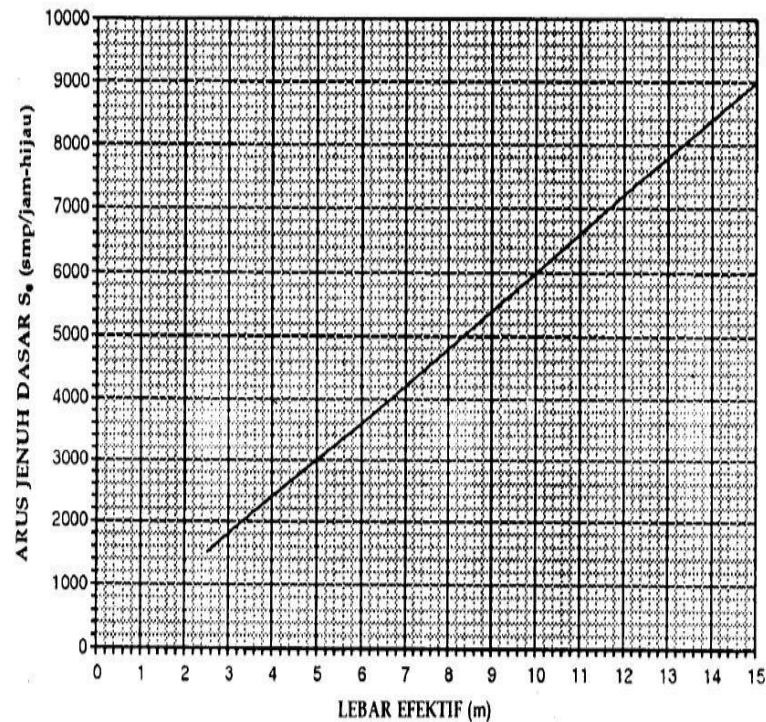
- Untuk pendekatan tipe P (*Protected*), yaitu arus terlindung:

$$S_0 = 600 \times W_e \text{ smp/jam hijau} \quad (2.8)$$

Dimana,

S_0 = arus jenuh dasar (smp/jam).

W_e = lebar jalan efektif (m).



Gambar 2.17: Arus jenuh dasar untuk pendekat tipe P. (MKJI 1997).

Berdasarkan pada nilai jenuh dasar yang menggunakan lebar pendekatan, maka besar arus jenuh dipengaruhi oleh komposisi kendaraan yakni dengan membagi kendaraan yang lewat atas jenis kendaraan penumpang, kendaraan berat dan sepeda motor yang merupakan bagian dari arus lalu lintas.

Faktor-faktor yang mempengaruhi besar arus jenuh adalah jumlah lajur dalam kelompok lajur yang bersangkutan, lebar lajur, persentase kendaraan yang lewat, kemiringan memanjang jalan, adanya lajur parkir dan jumlah manuver parkir perjam, pengaruh penyesuaian kota dan penduduk, hambatan samping sebagai fungsi-fungsi dari jenis lingkungan jalan dan pengaruh membelok kekanan dan ke kiri.

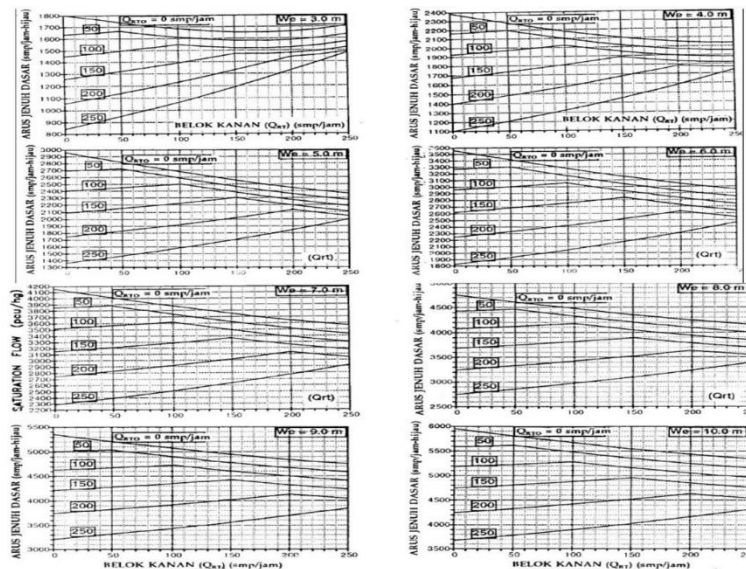
Persamaan matematis untuk menyatakan hal di atas digunakan dalam perhitungan arus jenuh sebagai berikut:

$$S = S_0 \times F_{CS} \times F_{SF} \times F_G \times F_P \times F_{RT} \times F_{LT} \text{ smp/jam} \quad (2.9)$$

Dimana:

- S = Arus jenuh untuk kelompok lajur yang dianalisis, dalam kendaraan perjam waktu hijau (smp/jam)
- S₀ = Arus jenuh dasar untuk setiap pendekatan (smp/jam).
- F_{cs} = Faktor penyesuaian ukuran kota dengan jumlah penduduk.
- F_{sf} = Faktor penyesuaian hambatan samping sebagai fungsi dari jenis lingkungan.
- F_G = Faktor penyesuaian kelandaian jalan.
- F_P = Faktor penyesuaian terhadap parkir.
- F_{RT} = Faktor penyesuaian belok kanan (hanya berlaku untuk pendekatan tipe P, jalan dua arah).
- F_{LT} = Faktor penyesuaian belok kiri (hanya berlaku untuk pendekatan tipe P, tanpa belok kiri langsung).

Jika gerakan belok kanan lebih besar dari 250 smp/jam, fase sinyal terlindung harus dipertimbangkan, artinya rencana fase sinyal harus diganti. Cara pendekatan berikut dapat digunakan untuk tujuan analisa operasional misalnya peninjauan kembali waktu sinyal suatu simpang. Untuk pendekat-pendekat tipe 0 tanpa lajur belok kanan terpisah dapat di lihat pada Gambar 2.18



Gambar 2.18: Untuk pendekat-pendekat tipe 0 tanpa lajur belok kanan terpisah. (MKJI 1997).

2.3.4.4 Rasio Arus

Ada beberapa langkah dalam menentukan rasio arus jenuh yaitu:

- a. Arus lalu lintas masing-masing pendekat (Q)
 1. Jika $W_e = W_{\text{keluar}}$, maka hanya gerakan lurus saja yang dimasukkan dalam nilai Q.
 2. Jika suatu pendekat mempunyai sinyal hijau dalam dua fase, yang satu untuk arus terlawan (Q) dan yang lainnya arus terlindung (P), maka gabungan arus lalu lintas sebaiknya dihitung sebagai smp rata-rata berbobot untuk kondisi terlawan dan terlindung dengan cara yang sama seperti pada perhitungan arus jenuh.

- b. Rasio arus (FR) masing-masing pendekat:

$$FR = Q / S \quad (2.10)$$

- c. Menentukan tanda rasio arus kritis (FR_{CRLT}) tertinggi pada masing-masing fase

- d. Rasio arus simpang (IFR) sebagai jumlah dari nilai-nilai FR_{CRLT}

$$IFR = \sum (FR_{\text{CRLT}}) \quad (2.11)$$

- e. Rasio fase (PR) masing-masing fase sebagai rasio antara FR_{CRLT} dan IFR

$$PR = FR_{\text{CRLT}} / IFR \quad (2.12)$$

2.4 Faktor penyesuaian

Pada perhitungan arus jenuh ada beberapa faktor penyesuaian. Untuk semua tipe pendekat (tipe pendekat P dan tipe pendekat O) faktor penyesuaiannya meliputi ukuran kota, hambatan samping, kelandaian dan parkir. Sedangkan faktor penyesuaian belok kanan (F_{RT}) dan faktor penyesuaian belok kiri (F_{LT}) hanya untuk tipe pendekat P.

2.4.1 Faktor Penyesuaian Ukuran Kota (F_{cs})

Besarnya jumlah penduduk suatu kota akan mempengaruhi karakteristik perilaku pengguna jalan dan jumlah kendaraan yang ada. Faktor penyesuaian ukuran kota dapat dilihat pada Tabel 2.4 di bawah ini.

Tabel 2.4: Faktor penyesuaian ukuran kota (Fcs). (MKJI 1997).

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

2.4.2 Faktor Penyesuaian Hambatan Samping (FSF)

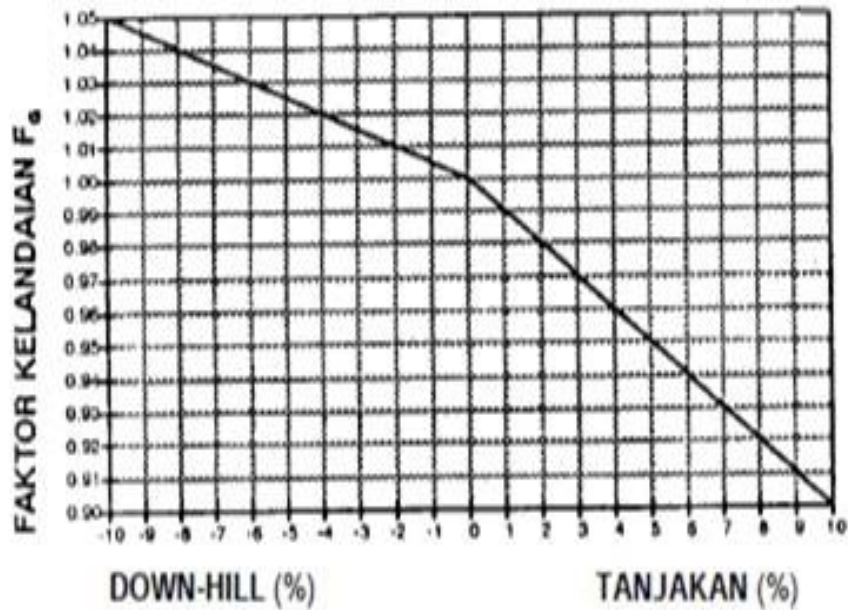
Faktor penyesuaian hambatan samping ditentukan dengan Tabel 2.5. berikut:

Tabel 2.5: Faktor penyesuaian tipe lingkungan, hambatan samping dan kendaraan tak bermotor. (MKJI 1997).

lingkungan jalan	Hambatan samping	Tipe fase	Rasio kendaraan tak bermotor					
			0	0,05	0,1	0,15	0,2	≥0,25
Komersial (COM)	Tinggi	Terlawan	0,93	0,88	0,84	0,79	0,74	0,7
		Terlindung	0,93	0,91	0,88	0,87	0,85	0,81
	Sedang	Terlawan	0,94	0,89	0,85	0,8	0,75	0,71
		Terlindung	0,94	0,92	0,89	0,88	0,86	0,82
	Rendah	Terlawan	0,95	0,9	0,86	0,81	0,76	0,72
		Terlindung	0,95	0,93	0,9	0,89	0,87	0,83
Pemukiman (RES)	Tinggi	Terlawan	0,96	0,91	0,86	0,81	0,78	0,72
		Terlindung	0,96	0,94	0,91	0,99	0,86	0,84
	Sedang	Terlawan	0,97	0,92	0,87	0,82	0,79	0,73
		Terlindung	0,97	0,95	0,92	0,9	0,87	0,85
	Rendah	Terlawan	0,98	0,93	0,88	0,83	0,8	0,74
		Terlindung	0,98	0,96	0,93	0,91	0,88	0,86
Akses terbatas (RA)		Terlawan	1	0,95	0,9	0,85	0,8	0,75
		Terlindung	1	0,98	0,95	0,93	0,9	0,88

2.4.3 Faktor Penyesuaian Kelandaian (FG)

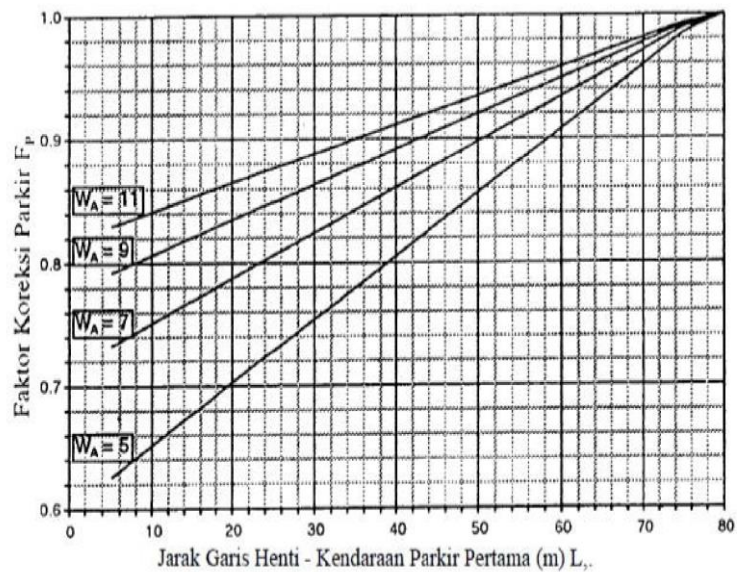
Faktor penyesuaian kelandaian (F_G) didapat dari grafik. Untuk kelandaian 0% faktor penyesuaian kelandaian (F_G) adalah 1. Factor penyesuaian kelandaian dapat dilihat pada Gambar 2.19.



Gambar m2.19: Faktor penyesuaian kelandaian (F_G). (MKJI 1997).

2.4.4 Faktor Penyesuaian Parkir (FP)

Faktor penyesuaian parkir diperoleh dari grafik sebagai fungsi jarak dari garis henti sampai kendaraan yang diparkir pertama dan lebar pendekatan. Faktor penyesuaian parkir (FP) dapat di lihat pada Gambar 2.20.



Gambar 2.20: Faktor penyesuaian untuk pengaruh parkir dan lajur belok kiri yang pendek F_p . (MKJI 1997).

2.4.5 Faktor Penyesuaian Belok Kanan (F_{RT})

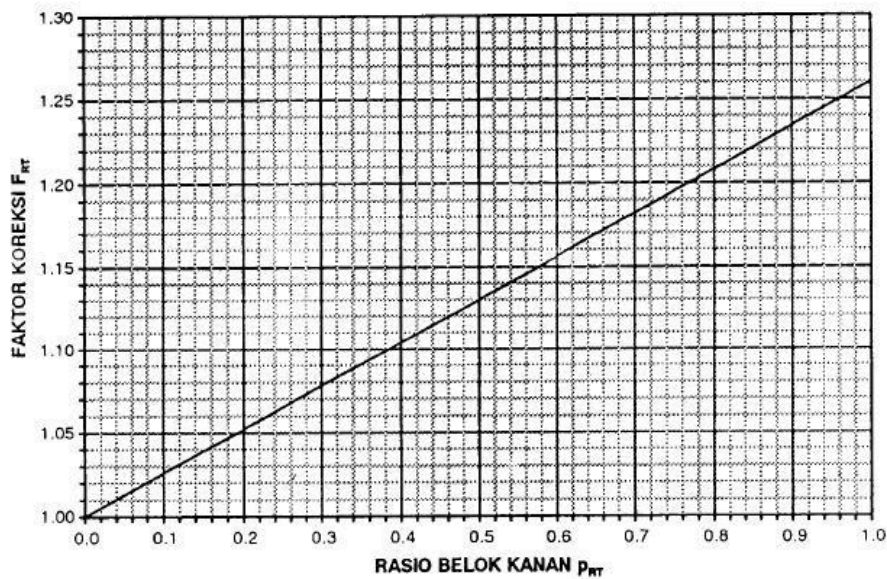
Faktor penyesuaian belok kanan (F_{RT}) hanya berlaku untuk pendekat tipe P, jalan dua arah, lebar efektif ditentukan oleh lebar masuk. Faktor penyesuaian belok kanan juga bisa didapat dengan menggunakan rumus:

$$F_{RT} = 1,0 + P_{RT} \times 0,26 \quad (2.13)$$

Dimana:

F_{RT} = faktor penyesuaian belok kanan, P_{RT}

= rasio belok kanan.



Gambar 2.21: Faktor penyesuaian untuk pengaruh belok kanan (FRT). (MKJI 1997).

2.4.6 Faktor Penyesuaian Belok Kiri (F_{LT})

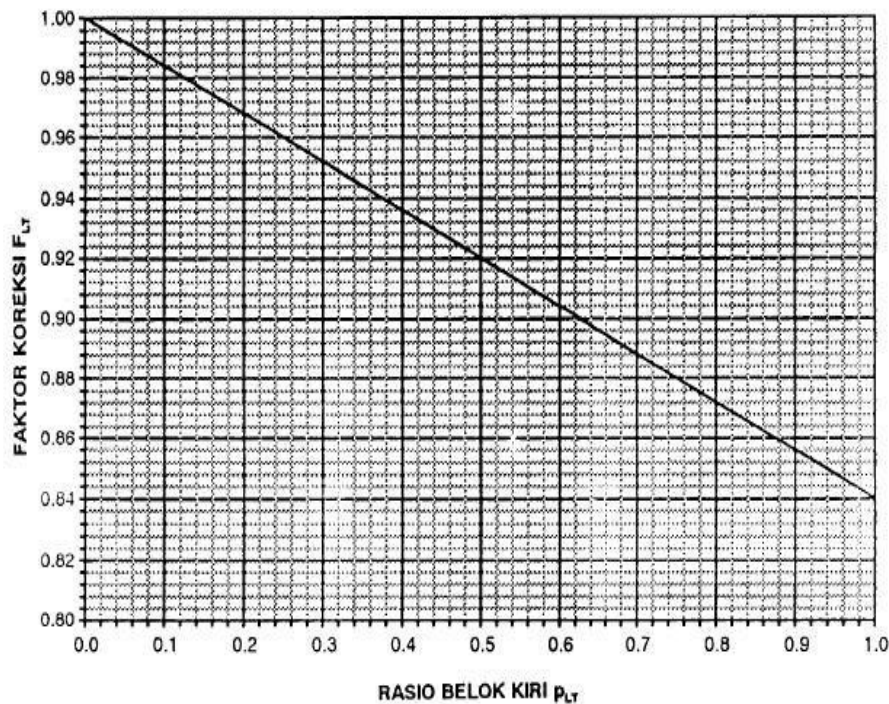
Faktor penyesuaian belok kiri hanya berlaku untuk pendekat tipe P tanpa belok kiri langsung, lebar efektif ditentukan oleh lebar masuk. Faktor penyesuaian belok kiri dapat diperoleh dengan menggunakan rumus:

$$F_{LT} = 1,0 - P_{LT} \times 0,16 \quad (2.14)$$

Keterangan:

F_{LT} = faktor penyesuaian belok kiri, P_{LT}

= rasio belok kiri.



Gambar 2.22: Faktor penyesuaian untuk pengaruh belok kiri (FLT). (MKJI 1997).

Pada pendekat-pendekat terlindung tanpa penyediaan belok kiri langsung, kendaraan-kendaraan belok kiri cenderung melambat dan mengurangi arus jenuh pendekat tersebut. Karena arus berangkat dalam pendekat-pendekat terlawan (tipe 0) pada umumnya lebih lambat, maka tidak diperlukan penyesuaian untuk pengaruh rasio belok kiri.

2.5 Waktu Siklus dan Waktu Hijau

2.5.1 Waktu Siklus Sebelum Penyesuaian

Hitung waktu siklus sebelum penyesuaian (C_{ua}) untuk pengendalian waktu tetap, dan masukkan hasilnya kedalam kotak dengan tanda "waktu siklus".

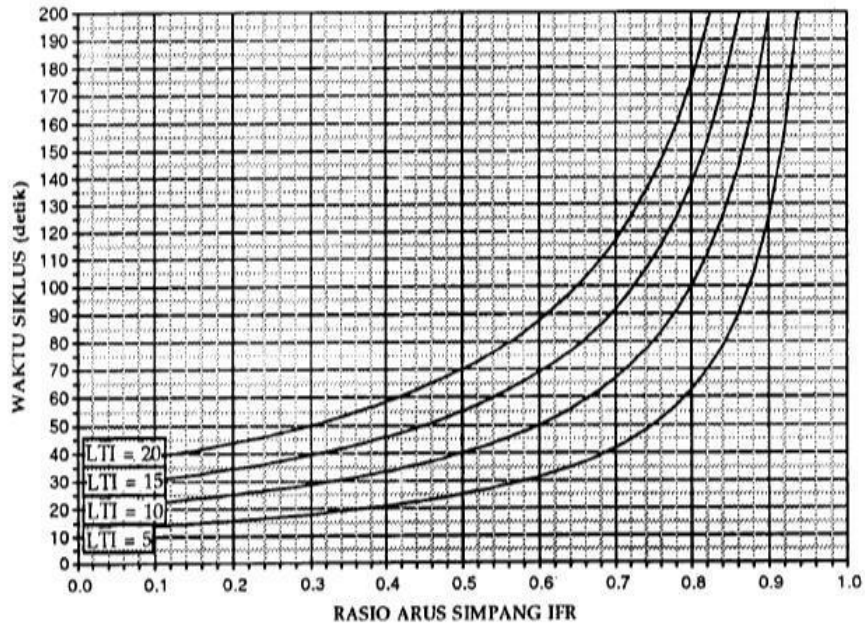
$$C_{ua} = (1,5 \times LTI + 5) / (1 - IFR) \quad (2.15)$$

Dimana:

C_{ua} = waktu siklus sebelum penyesuaian sinya (det)

LTI = waktu hilang total per siklus (det)

IFR = rasio arus simpang



Gambar 2.23: Penetapan waktu siklus sebelum penyesuaian. (MKJI 1997).

Tabel 2.6: Waktu siklus yang disarankan untuk keadaan yang berbeda. (MKJI 1997).

Tipe Pengaturan	Waktu siklus yang layak
Pengaturan dua fase	40 – 80
Pengaturan tiga fase	50 – 100
Pengaturan empat fase	80 – 130

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

2.5.2 Waktu Hijau

Hitung waktu hijau (g) untuk masing-masing fase dapat dihitung dengan rumus:

$$g_i = (c_{ua} - LTI) \times PR_i \quad (2.16)$$

di mana:

$$g_i = \text{Tampilan waktu hijau pada fase } i \text{ (det)}$$

C_{ua} = Waktu siklus sebelum penyesuaian (det)

LTI = Waktu hilang total per siklus

PR_i = Rasio fase FR_{crit}

Waktu hijau yang lebih pendek dari 10 detik harus dihindari, karena dapat mengakibatkan pelanggaran lampu merah yang berlebihan dan kesulitan bagi pejalan kaki untuk menyeberang jalan.

2.5.3. Waktu Siklus Yang Disesuaikan

Hitung waktu siklus yang disesuaikan (c) berdasar pada waktu hijau yang diperoleh dan telah dibulatkan dan waktu hilang (LTI) dan masukkan hasilnya pada bagian terbawah.

$$C = \sum g + LTI \quad (2.17)$$

2.6 Panjang Antrian (QL)

Jumlah rata-rata antrian 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).

$$NQ = NQ1 + NQ2 \quad (2.18)$$

dengan,

$$NQ_1 = 0,25 \cdot C \left[(DS - 1) + \sqrt{(DS - 1)^2 + \frac{8 \cdot (DS - 0,5)}{c}} \right] \quad (2.19)$$

Jika $DS \leq 0,5$; $NQ_1 = 0$

$$NQ_2 = C \frac{1-GR}{1-GR \cdot DS} \times \frac{Q_{masuk}}{3600} \quad (2.20)$$

Dimana:

NQ_1 = jumlah smp yang tertinggal dari fase hijau sebelumnya.

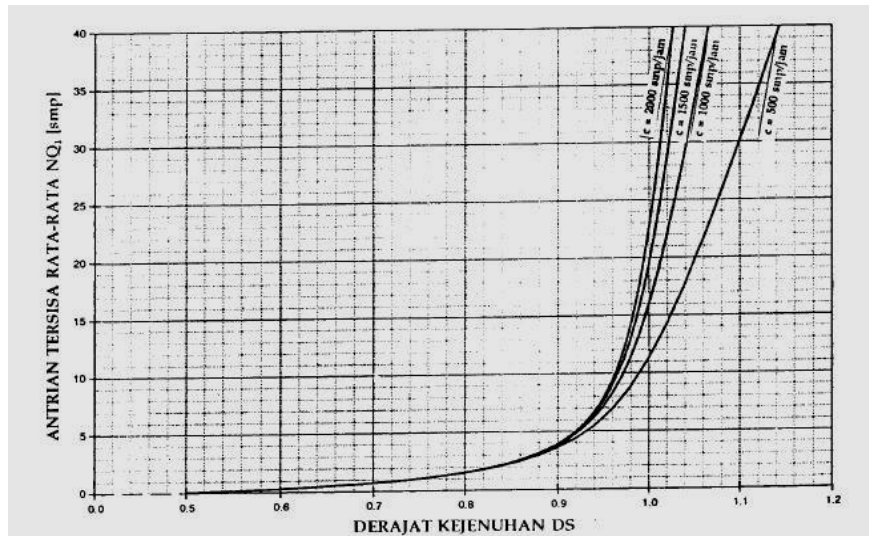
NQ_2 = jumlah smp yang datang selama fase merah.

DS = derajat kejenuhan. GR
= rasio siklus.

c = waktu siklus (det)

C = kapasitas (smp/jam) = arus jenuh kali rasio hijau (S x GR)

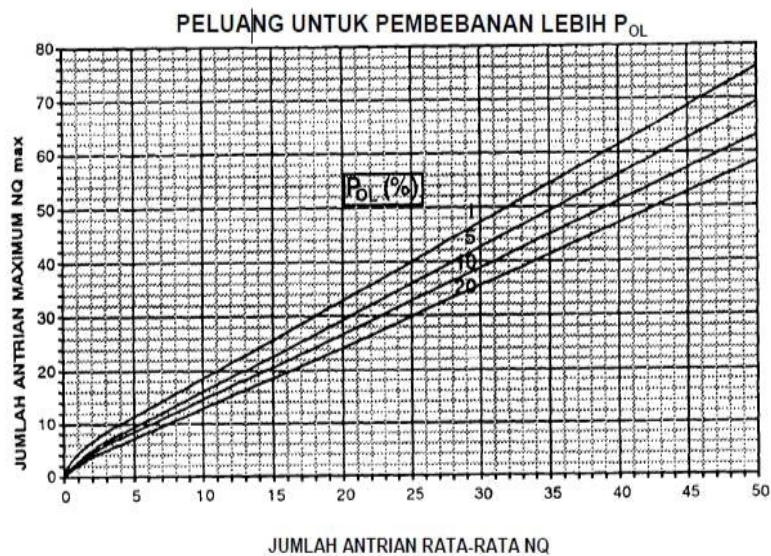
Q = arus lalulintas pada pendekat tersebut (smp/det)



Gambar 2.24: Jumlah kendaraan antri (smp) yang tersisa dari fase hijau sebelumnya (NQ_1). (MKJI 1997).

Panjang antrian (QL) kendaraan adalah dengan mengalikan NQ_{max} dengan luas rata-rata yang dipergunakan per smp (20 m^2) kemudian dibagi dengan lebar masuknya.

$$QL = (NQ_{max} \cdot 20) / W_{masuk} \quad (2.21)$$



Gambar 2.25: Perhitungan jumlah antrian (NQ_{max}) dalam smp. (MKJI 1997).

2.7 Kendaraan Terhenti

Angka henti (NS) masing-masing pendekat yang didefinisikan sebagai jumlah rata-rata berhenti per smp. NS adalah fungsi dari NQ dibagi dengan waktu siklus. (MKJI 1997).

$$NS = 0,9 \times \frac{NQ}{Q \times c \times 3600} \quad (2.22)$$

Dimana:

c = waktu siklus

Q = arus lalulintas

Jumlah kendaraan terhenti N_{SV} masing-masing pendekat

$$N_{SV} = Q \times NS \text{ (smp/jam)} \quad (2.23)$$

Angka henti seluruh simpang dengan cara membagi jumlah kendaraan terhenti pada seluruh pendekat dengan arus simpang total Q dalam kend/jam

$$NS_{tot} = \frac{\sum N_{SV}}{Q_{TOTAL}} \quad (2.24)$$

2.8 Tundaan

Tundaan lalulintas rata-rata setiap pendekat (DT) akibat pengaruh timbal balik dengan gerakan-gerakan lainnya pada simpang.

$$DT = c \times A \times \frac{NQ_1 \times 3600}{C} \quad (2.25)$$

Dimana:

DT = tundaan lalulintas 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

NQ_1 = jumlah smp yang tersisa dari fase hijau sebelumnya

C = kapasitas (smp/jam)

Tundaan geometrik rata-rata masing-masing pendekat (DG) akibat perlambatan dan percepatan ketika menunggu giliran pada suatu simpang dan/ atau ketika dihentikan oleh lampu merah.

$$DG_j = (1 - P_{SV}) \times P_T \times 6 + (P_{SV} \times 4) \quad (2.26)$$

Dimana:

- DG_j = tundaan geometrik rata-rata untuk pendekat j (det/smp)
- P_{SV} = rasio kendaraan terhenti pada pendekat
- P_T = rasio kendaraan berbelok

Tundaan rata-rata untuk seluruh simpang (D₁) diperoleh dengan membagi jumlah nilai tundaan dengan arus total (Q_{tot}) dalam smp/jam.

$$D_1 = \frac{(Q \times D_j)}{Q_{total}} \quad (2.27)$$

Menurut Tamin (2000) jika kendaraan berhenti terjadi antrian dipersimpangan sampai kendaraan tersebut keluar dari persimpangan karena adanya pengaruh kapasitas persimpangan yang sudah tidak memadai. Semakin tinggi nilai tundaan semakin tinggi pula waktu tempuhnya. Untuk menentukan indeks tingkat pelayanan (ITP) suatu persimpangan:

Tabel 2.7: ITP pada persimpangan berlampu lalulintas. (MKJI 1997).

Indeks Tingkat Pelayanan (ITP)	Tundaan kendaraan (detik)
A	≤ 5,0
B	5,1-15,0
C	15,0-25,0
D	25,1-40,1
E	40,1-60,0
F	≥ 60