

BAB II

LANDASAN TEORI

2.1 Lalu Lintas

Lalu lintas didefinisikan sebagai gerak kendaraan dan orang di ruang lalu lintas jalan, adalah prasarana yang diperuntukkan bagi gerak pindah kendaraan, orang, dan/atau barang yang berupa jalan dengan fasilitas pendukungnya (“Undang-Undang No. 22 Tahun 2009,” 2009).

Lalu lintas memiliki 3 (tiga) sistem komponen, diantara lain adalah manusia, kendaraan, dan jalan yang saling berinteraksi dalam pergerakan kendaraan.

2.2 Volume Lalu-Lintas

Menurut (MKJI 1997, n.d.) volume lalu lintas adalah jumlah kendaraan yang melewati suatu titik per satuan waktu pada lokasi tertentu. Dalam mengukur jumlah arus lalu lintas, biasanya dinyatakan dalam kendaraan per hari, smp per jam, dan kendaraan per menit.

Volume adalah jumlah kendaraan yang melalui satu titik yang tetap pada jalan dalam satuan waktu. Volume lalu lintas dapat dihitung dengan menggunakan rumus (Morlok, E.K.c1991) berikut:

$$V = \frac{n}{t}$$

Keterangan :

V = Volume lalu lintas yang melalui satu titik

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

t = Waktu Pengamatan

2.3 Jalan

Menurut (“Undang-Undang No. 22 Tahun 2009,” 2009), jalan adalah seluruh bagian jalan, termasuk bangunan pelengkap dan perlengkapannya yang diperuntukkan bagi lalu lintas umum, yang berada pada permukaan tanah, di atas permukaan tanah, di bawah permukaan tanah dan/atau air, serta di atas permukaan air, kecuali jalan rel dan jalan kabel.

Jalan perkotaan menurut Manual Kapasitas Jalan Indonesia (MKJI) 1997 yang merupakan segmen jalan yang mempunyai perkembangan secara permanen

dan menerus sepanjang seluruh atau hampir seluruh jalan, minimum pada satu sisi jalan, apakah berupa perkembangan lahan atau bukan.

Berdasarkan kelas fungsional, jalan dikelompokkan sebagai berikut:

1. Jalan arteri adalah jalan yang menghubungkan kota jenjang kesatu dengan kota jenjang kedua.
2. Jalan kolektor adalah jalan yang menghubungkan kota jenjang kedua dengan jenjang kota kedua atau menghubungkan jenjang kota kedua dengan jenjang kota ketiga.
3. Jalan lokal adalah jalan yang menghubungkan kota jenjang kesatu dengan persil atau menghubungkan kota jenjang kedua dengan persil atau kota jenjang ketiga dengan kota jenjang ketiga atau kota jenjang ketiga dengan kota di bawahnya, atau kota jenjang ketiga dengan persil atau kota di bawah jenjang ketiga sampai persil. (MKJI 1997 tentang Jalan Perkotaan).

2.4 Karakteristik Lalu-Lintas

Karakteristik umum dari pergerakan lalu lintas sering dinyatakan oleh volume lalu lintas, kecepatan dan kepadatan lalu lintas. Volume lalu lintas, kecepatan dan kepadatan lalu lintas saling berhubungan satu sama lain dalam operasional lalu lintas di jalan.

2.5 Simpang

Simpang merupakan bagian yang tidak terpisahkan dari semua sistem jalan. Ketika berkendara di dalam kota, orang dapat melihat bahwa kebanyakan jalan di daerah perkotaan biasanya memiliki persimpangan, di mana pengemudi dapat memutuskan untuk jalan terus atau berbelok dan pindah jalan. Persimpangan jalan dapat didefinisikan sebagai daerah umum di mana dua jalan atau lebih bergabung atau bersimpangan, termasuk jalan dan fasilitas tepi jalan untuk pergerakan lalu-lintas di dalamnya (Khisty & Lall, 2005).

Simpang adalah suatu area yang kritis pada suatu jalan raya yang merupakan tempat titik konflik dan tempat kemacetan karena bertemunya dua ruas jalan atau lebih. Koordinasi sinyal antar simpang diperlukan untuk mengoptimalkan kapasitas jaringan jalan karena dengan adanya koordinasi sinyal ini diharapkan tundaan

(delay) yang dialami kendaraan dapat berkurang dan menghindarkan antrian kendaraan yang Panjang (Utomo & Yulianyahya, Raafi Widyaputra, 2020)

Persimpangan didefinisikan sebagai tempat atau daerah umum dimana dua jalan atau lebih yang bergabung termasuk fasilitas tepi jalan sebagai pergerakan lalu lintas didalamnya. Persimpangan sebidang dapat dikelompokkan berdasarkan cabangnya yaitu pertemuan sebidang bercabang tiga, bercabang empat dan pertemuan sebidang bercabang banyak (Romadhona & Hakiki, 2020).

Berdasarkan pengaturannya simpang dapat dibedakan menjadi 2 jenis yaitu:

1. Simpang tak bersinyal

Simpang tanpa menggunakan APPIL atau sinyal lalu lintas. Pada simpang jenis ini pengedara atau pengguna jalan yang memutuskan apakah jalan cukup aman sebelum melewati simpang tersebut.

2. Simpang bersinyal

Simpang jenis ini menggunakan pengoperasian sinyal lalu lintas, sehingga pemakai jalan hanya boleh lewat sesuai saat sinyal menunjukkan warna hijau pada lengan simpangnya.

2.6 Simpang Bersinyal

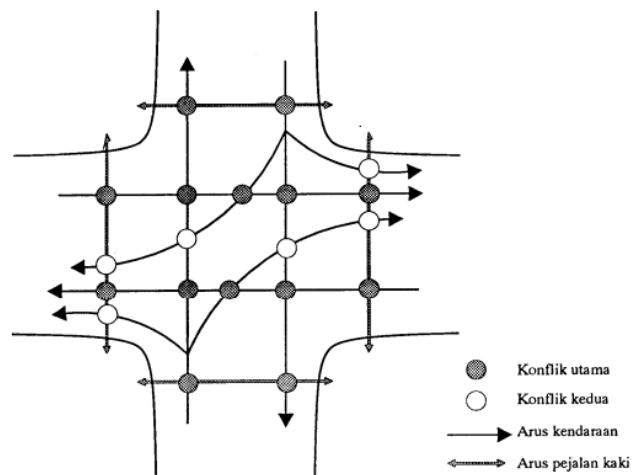
Simpang bersinyal adalah suatu persimpangan yang terdiri dari beberapa lengan serta dilengkapi dengan pengaturan sinyal lampu lalu lintas (*traffic light*). Berdasarkan (MKJI 1997, n.d.) tujuan penggunaan sinyal lampu lalu lintas pada persimpangan antara lain:

1. Untuk menghindari kemacetan simpang akibat adanya konflik arus lalu lintas, sehingga terjamin bahwa suatu kapasitas tertentu dapat dipertahankan, bahkan selama kondisi lalu lintas jam puncak.
2. Untuk memberi kesempatan kepada kendaraan dan/atau pejalan kaki dari jalan simpang (kecil) untuk memotong jalan.
3. Untuk mengurangi jumlah kecelakaan lalu lintas akibat tabrakan antara kendaraan dari arah yang bertentangan.

2.6.1 Karakteristik Sinyal Lalu-Lintas

Karakteristik sinyal lalu lintas berdasarkan (MKJI 1997, n.d.) untuk sebagian besar fasilitas jalan, kapasitas dan perilaku lalu-lintas terutama adalah fungsi dari keadaan geometrik dan tuntutan lalu-lintas. Dengan menggunakan sinyal, perancang atau insinyur dapat mendistribusikan kapasitas kepada berbagai pendekatan melalui pengalokasian waktu hijau pada masing-masing pendekatan. Maka dari itu untuk menghitung kapasitas dan perilaku lalu lintas, pertama-tama perlu ditentukan fase dan waktu sinyal yang paling sesuai untuk kondisi yang ditinjau.

Penggunaan sinyal dengan lampu tiga warna (hijau, kuning, merah) diterapkan untuk memisahkan lintasan dari gerakan-gerakan lalu-lintas yang saling bertentangan dalam dimensi waktu. Hal ini adalah keperluan yang mutlak bagi gerakan-gerakan lalu-lintas yang datang dari jalan-jalan yang saling berpotongan = konflik-konflik utama. Sinyal-sinyal dapat juga digunakan untuk memisahkan gerakan membelok dari pejalan kaki yang menyeberang = konflik-konflik kedua.



Gambar 2. 1 Konflik-Konflik Utama Dan Kedua Pada Simpang Bersinyal Dengan Empat Lengan

Sumber : MKJI, 1997

Jika hanya konflik-konflik primer yang dipisahkan, maka adalah mungkin untuk mengatur sinyal lampu lalu-lintas hanya dengan dua fase, masing-masing sebuah untuk jalan yang berpotongan.

2.6.2 Komposisi Arus

Pemisahan arah lalu-lintas: kapasitas jalan dua arah paling tinggi pada pemisahan arah 50 - 50, yaitu jika arus pada kedua arah adalah sama pada periode waktu yang dianalisa (umumnya satu jam). Komposisi lalu-lintas mempengaruhi hubungan kecepatan-arus jika arus dan kapasitas dinyatakan dalam kend/jam, yaitu tergantung pada rasio sepeda motor atau kendaraan berat dalam arus lalu-lintas. Jika arus dan kapasitas dinyatakan dalam satuan mobil penumpang (smp), maka kecepatan kendaraan ringan dan kapasitas (smp/jam) tidak dipengaruhi oleh komposisi lalu-lintas.

2.6.3 Pengaturan Lalu-Lintas

Batas kecepatan jarang diberlakukan di daerah perkotaan di Indonesia, dan karenanya hanya sedikit berpengaruh pada kecepatan arus bebas. Aturan lalu-lintas lainnya yang berpengaruh pada kinerja lalu-lintas adalah: pembatasan parkir dan berhenti sepanjang sisi jalan, pembatasan akses tipe kendaraan tertentu, pembatasan akses dari lahan samping jalan dan sebagainya.

2.6.4 Aktivitas Samping Jalan

Di Indonesia banyak sekali aktivitas di samping badan jalan yang sering menimbulkan konflik, kadang-kadang besar pengaruhnya terhadap arus lalu-lintas yang biasa disebut hambatan samping.

Hambatan samping adalah interaksi antara arus lalu-lintas dan kegiatan di samping jalan yang menyebabkan pengurangan terhadap arus jenuh di dalam pendekatan. Jenis-jenis hambatan samping antara lain:

1. Pejalan kaki.
2. Angutan umum dan kendaraan lain yang berhenti (parkir).
3. Kendaraan masuk dan keluar dari lokasi di pinggir jalan.
4. Kendaraan lambat (misalnya becak dan delman).
5. Pedagang kaki lima.

Untuk menyederhanakan peranannya dalam prosedur perhitungan, tingkat hambatan samping telah dikelompokkan dalam lima kelas dari sangat

rendah sampai sangat tinggi sebagai fungsi dari frekuensi kejadian hambatan samping sepanjang segmen jalan yang diamati. Photo khusus juga ditunjukkan dalam manual untuk memudahkan pemilihan kelas hambatan samping yang digunakan dalam analisa.

Tabel 2. 1 Kelas Hambatan Samping

Kelas hambatan samping	Kode	Jumlah bobot kejadian per 200 m per Jam (dua sisi)	Kondisi khusus
Sangat Rendah	VL	< 100	Daerah pemukiman, jalan dengan jalan samping.
Rendah	L	100 - 299	Daerah pemukiman, beberapa kendaraan umum dsb.
Sedang	M	300 - 499	Daerah industri, beberapa toko di sisi jalan.
Tinggi	H	500 – 899	Daerah komersial dengan aktivitas sisi jalan tinggi.
Sangat Tinggi	VH	> 900	Daerah komersial dengan aktivitas pasar di samping jalan.

Sumber : MKJI, 1997

2.6.5 Perilaku Pengemudi dan Populasi Kendaraan

Perilaku pengemudi dan populasi kendaraan (umur, tenaga dan kondisi kendaraan, komposisi kendaraan) adalah beraneka ragam. Karakteristik ini dimasukkan dalam prosedur perhitungan secara tidak langsung, melalui ukuran kota. Kota yang lebih kecil menunjukkan perilaku pengemudi yang kurang gesit dan kendaraan yang kurang modern, menyebabkan kapasitas dan

kecepatan lebih rendah pada arus tertentu, jika dibandingkan dengan kota yang lebih besar.

2.6.6 Metodologi Analisa Simpang Bersinyal

Metodologi untuk analisa simpang bersinyal yang diuraikan di bawah ini, didasarkan pada prinsip – prinsip utama sebagai berikut :

1. Geometrik

Perhitungan dikerjakan secara terpisah untuk setiap pendekatan. Satu lengan simpang dapat terdiri lebih dari satu pendekatan, yaitu dipisahkan menjadi dua atau lebih sub-pendekatan. Hal ini terjadi jika gerakan belok-kanan dan/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 pendekatan. Untuk masing-masing pendekatan atau sub-pendekatan lebar efektif (W_e) ditetapkan dengan mempertimbangkan denah dari bagian masuk dan ke luar suatu simpang dan distribusi dari gerakan-gerakan membelok.

2. Arus lalu-lintas

Perhitungan dilakukan per satuan 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 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 pendekatan terlindung dan terlawan.

Tabel 2. 2 Arus Lalu Lintas

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

Sumber : MKJI, 1997

3. Model dasar

Kapasitas pendekat simpang bersinyal dapat dinyatakan sebagai berikut:

$$C = S \times g / c$$

Dimana:

C = Kapasitas (smp/jam)

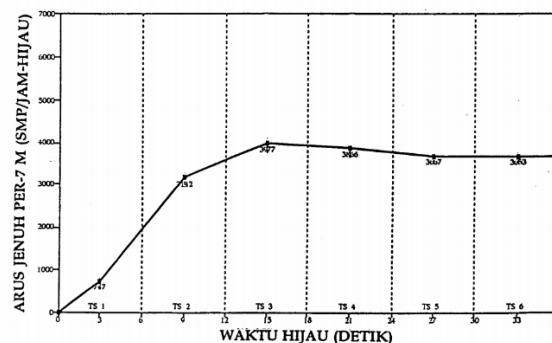
S = Arus Jenuh, yaitu arus berangkat rata-rata dari antrian dalam pendekat selama sinyal hijau (smp/jam hijau = smp per-jam hijau)

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.

Pada rumus di atas, arus jenuh dianggap tetap selama waktu hijau. Meskipun demikian dalam kenyataannya, arus berangkat mulai dari 0 pada awal waktu hijau dan mencapai nilai puncaknya setelah 10-15 detik. Nilai ini akan menurun sedikit sampai akhir waktu hijau, lihat gambar di bawah ini. Arus berangkat juga terus berlangsung selama waktu kuning dan merah-semua hingga turun menjadi 0, yang biasanya terjadi 5 - 10 detik setelah awal sinyal merah.



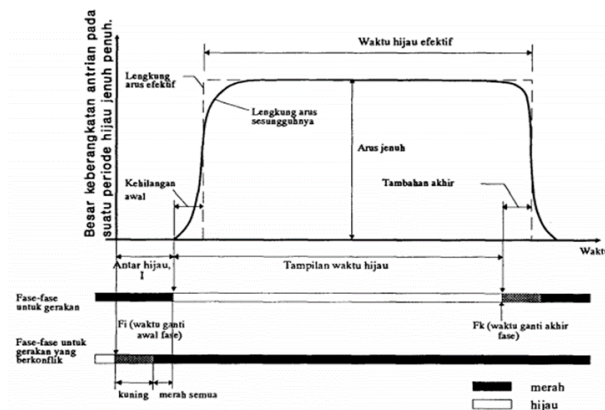
Gambar 2. 2 Arus Jenuh Yang Diamati Per Selang Waktu Enam Detik

Sumber : MKJI, 1997

Permulaan arus berangkat menyebabkan terjadinya apa yang disebut sebagai kehilangan awal dari waktu hijau efektif, arus berangkat setelah akhir waktu hijau menyebabkan suatu tambahan akhir dari waktu hijau efektif, dapat dilihat pada Gambar.

Jadi besarnya waktu hijau efektif, yaitu lamanya waktu hijau di mana arus berangkat terjadi dengan besaran tetap sebesar S , dapat kemudian dihitung sebagai:

Waktu Hijau Efektif = Tampilan waktu hijau – Kehilangan awal
+Tambahan akhir



Gambar 2. 3 Model Dasar Untuk Arus Jenuh (Akceklik 1989)

Sumber : MKJI, 1997

2.6.7 Prosedur Perhitungan Simpang Bersinyal

Dengan menerapkan metoda-metoda yang diuraikan dalam prosedur perhitungan simpang bersinyal untuk memperkirakan pengaruh penggunaan sinyal terhadap kapasitas dan perilaku lalu-lintas jika dibandingkan dengan pengaturan tanpa sinyal atau pengaturan bundaran. Prosedur perhitungan simpang bersinyal ini menguraikan mengenai tata cara untuk menentukan waktu sinyal, kapasitas, dan perilaku lalu lintas (tundaan, panjang antrian, dan rasio kendaraan terhenti) pada simpang bersinyal di daerah perkotaan maupun semi perkotaan berdasarkan data-data yang ada dilapangan untuk kemudian diolah sesuai urutan pengerjaan hingga didapatkan nilai Level Of Service (LOS) yang diharapkan.

2.6.8 Kondisi Geometrik, Pengaturan Lalu Lintas dan Kondisi Lingkungan

Pada kondisi geometrik Perhitungan dikerjakan secara terpisah untuk setiap pendekat. Satu lengan simpang dapat terdiri lebih dari satu pendekat, yaitu dipisahkan menjadi dua atau lebih sub-pendekat. Untuk masing-masing pendekat atau sub-pendekat lebar efektif (W_e) ditetapkan dengan mempertimbangkan denah dari bagian masuk dan ke luar suatu simpang dan distribusi dari gerakan-gerakan membelok.

Dari gerakan-gerakan membelok. Data-data yang ada dimasukkan kedalam formulir sesuai dengan perintah yang ada pada masing-masing kolom yang tersedia pada MKJI 1997.

1. Umum mengisi tanggal, dikerjakan oleh, kota, simpang, kasus (misalnya Alternatif 1) dan periode waktu (misalnya puncak pagi) pada bagian judul formulir.
2. Ukuran kota memasukkan jumlah penduduk perkotaan (ketelitian 0,1 jt penduduk).
3. Pengaturan fase dan waktu sinyal Fase adalah bagian dari siklus sinyal dengan lampu hijau disediakan bagi kombinasi tertentu dari gerakan lalu lintas. MKJI memberikan waktu siklus yang disarankan untuk keadaan yang berbeda seperti pada tabel berikut:

Tabel 2. 3 Pengaturan Fase Dan Waktu Sinyal

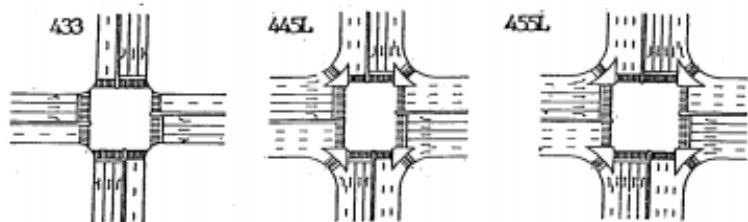
Tipe pengaturan	Waktu siklus yang layak (det)
Pengaturan dua-fase	40-80
Pengaturan tiga-fase	50-100
Pengaturan empat-fase	80-130

Sumber : MKJI, 1997

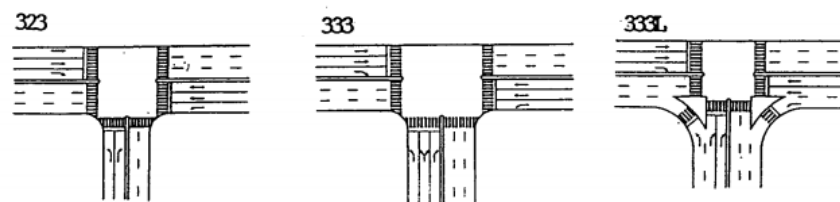
4. Belok kiri langsung Menentukannya dalam diagram fase dalam pendekat mana gerakan belok kiri langsung diijinkan / LTOR (gerakan membelok tersebut dapat dilakukan dalam semua fase tanpa memperhatikan isyarat lalu-lintas).
5. Sketsa persimpangan menggunakan runag kosong pada bagian

tengah dari formulir untuk membuat sketsa simpang dan memasukkan data geometrik yang diperlukan :

- Denah dan posisi-posisi pendekat-pendekat, pulau-pulau lalu lintas, garis henti, penyeberangan pejalan kaki, marka lajur dan marka panah.
- Lebar (ketelitian sampai sepersepuluh meter terdekat) dari bagian pendekat yang diperkeras, tempat masuk dan keluar.
- Panjang lajur dengan garis menerus/ garis larangan (ketelitian sampai meter terdekat)
- Gambar suatu panah yang menunjukkan arah utara pada sketsa. Jika tata letak dan desain persimpangan tidak diketahui, untuk analisis gunakan asumsi sesuai dengan nilai-nilai dasar di atas. Jenis – jenis persimpangan dapat dilihat pada Gambar.



Gambar 2. 4 Jenis-Jenis Simpang Empat Lengan



Gambar 2. 5 Jenis-Jenis Simpang Tiga Lengan

Sumber: MKJI, 1997

6. Kode pendekat menggunakan arah mata angin (Utara, Selatan, Timur, Barat) atau tanda lainnya yang jelas untuk menamakan pendekat-pendekat tersebut. Perhatikan bahwa lengan simpang dapat dibagi oleh pulau lalu lintas menjadi dua pendekat atau lebih mulut persimpangan misal N(LT+ST), N(RT).

7. Tipe lingkungan jalan mengisi tipe lingkungan jalan untuk setiap pendekat :
- Komersial (COM) : tata guna lahan komersial sebagai contoh toko, restoran, kantor dengan jalan masuk langsung bagi pejalan kaki dan kendaraan.
 - Pemukiman (RES) : tata guna lahan tempat tinggal dengan jalan masuk langsung bagi pejalan kaki dan kendaraan. Akses Terbatas (RA) : jalan masuk langsung terbatas atau tidak ada sama sekali.
8. Tingkat hambatan samping memasukkan tingkat hambatan samping:
- Tinggi : Jika besar arus berangkat pada tempat masuk (entry) dan keluar (exit) berkurang oleh karena aktivitas disamping jalan pada pendekat seperti angkutan umum berhenti, pejalan kaki berjalan sepanjang atau melintas pendekat, keluar-masuk halaman disamping jalan dsb.
 - Rendah : Jika besar arus berangkat pada tempat masuk dan keluar tidak berkurang oleh hambatan samping dari jenis - jenis yang disebut di atas.
9. Median memasukkan median (bagian dari jalan yang tidak dapat dilalui kendaraan dengan bentuk memanjang sejajar jalan, terletak disumbu tengah jalan dimaksudkan untuk memisahkan arus lalu lintas yang berlawanan) jika terdapat median pada bagian kanan dari garis henti dalam pendekat .
10. Kelandaian (%) memasukkan kelandaian dalam % (naik = + %; turun = - %)
11. Belok kiri langsung/ LTOR memasukkan jika belok kiri langsung (LTOR) diijinkan (Ya/Tidak) pada pendekat tersebut.
12. Jarak kendaraan parkir memasukkan jarak normal antara garis henti dan kendaraan parkir pertama yang diparkir disebelah hulu pendekat, untuk kondisi yang dipelajari.
13. Lebar pendekat masukkan sketsa, lebar (ketelitian sampai sepersepuluh meter terdekat) bagian yang diperkeras dari masing masing pendekat (hulu dari titik belok untuk LTOR), belok kiri

langsung, tempat masuk (pada garis henti) dan Tempat Keluar (bagian tersempit setelah melewati jalan melintang).

2.6.9 Komposisi Lalu Lintas

Menurut (MKJI 1997, n.d.) beberapa komposisi lalu lintas dapat dibedakan sebagai berikut:

- a) Kendaraan berat (Heavy vehicle/HV) yang termasuk kedalam kelompok kendaraan ini diantaranya sebagai berikut:
 - Mikro bus, semua kendaraan yang digunakan untuk angkutan penumpang dengan jumlah tempat duduk 20 buah termasuk pengemudi.
 - Bus, semua kendaraan yang digunakan untuk angkutan penumpang dengan jumlah tempat duduk sebanyak 40 atau lebih termasuk pengemudi.
 - Truck, semua kendaraan angkutan bermotor beroda empat atau lebih dengan berat total lebih dari 2,5 ton. Termasuk disini adalah truck 2 as, truck 3as, truck tanki, mobil gandeng, semi trailer, dan trailer.
- b) Kendaraan ringan (Light vehicle/LV) adalah semua jenis kendaraan bermotor beroda empat yang termasuk didalamnya:
 - Mobil penumpang, yaitu kendaraan bermotor beroda empat yang digunakan untuk mengangkut penumpang dengan maksimum 10 (sepuluh) orang termasuk pengemudi (sedan, jeep, minibus).
 - Pick-up, mobil hantaran dan mikro truck, dimana kendaraan beroda empat dan dipakai untuk angkutan barang dengan berat total (kendaraan dan barang) kurang dari 2,5 ton.
- c) Sepeda motor (Motorcycle/MC) merupakan kendaraan bermotor beroda dua dengan jumlah penumpang maksimum 2 (dua) orang termasuk pengemudi. Termasuk disini adalah sepeda motor, scooter, sepeda kumbang dan sebagainya.
- d) Kendaraan tak bermotor (Unmotorized/UM) adalah kendaraan yang tidak menggunakan motor sebagai tenaga penggerak, termasuk

didalamnya adalah sepeda, delman dan becak.

Tabel 2. 4 Nilai-Nilai Normal Untuk Komposisi Lalu Lintas (MKJI 1997, n.d.)

Ukuran kota juta penduduk	Komposisi lalu-lintas kendaraan bermotor (%)			Rasio kendaraan tak bermotor (UM/MV)
	Kendaraan ringan (LV)	Kendaraan berat (HV)	Sepeda motor (MC)	
> 3 juta	60	4,5	35,5	0,01
1 – 3 juta	55,5	3,5	41	0,05
0,5 – 1 juta	40	3,0	57	0,14
0,1 – 0,5 juta	63	2,5	34,5	0,05
< 0,1 juta	63	2,5	34,5	0,05

Sumber : MKJI, 1997

2.6.10 Kondisi Arus Lalu-Lintas

Data – data mengenai kondisi lalu lintas dimasukkan kedalam formulir SIG-II (MKJI 1997), dimana perhitungan 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 Q_{LT} , lurus Q_{ST} , belok kanan Q_{RT}) dikonversi dari kendaraan perjam menjadi satuan mobil penumpang (smp) untuk masing-masing pendekatan baik terlindung maupun terlawan.

Arus lalu lintas dihitung dalam (smp/jam) dimana nilai koefisiennya (emp) tergantung dari jenis kendaraan dan tipe pendekatnya. Nilai-nilai koefisien smp selengkapnya dapat dilihat tabel berikut :

Tabel 2. 5 Koefisien Kendaraan

Jenis kendaraan	emp untuk tipe pendekat	
	Terlindung	Terlawan
LV (Kendaraan Ringan)	1.00	1.00
HV (Kendaraan Berat)	1.30	1.30
MC (Sepeda Motor)	0.20	0.40

Sumber : MKJI, 1997

Pada masing-masing pendekat yang terdapat arus belok kanan maupun belok kiri harus dihitung rasio kendaraan belok kiri P_{LT} dan rasio belok kanan P_{RT} dengan :

$$P_{RT} = \frac{RT \left(\frac{smp}{jam} \right)}{Total \left(\frac{smp}{jam} \right)}$$

$$P_{LT} = \frac{LT \left(\frac{smp}{jam} \right)}{Total \left(\frac{smp}{jam} \right)}$$

Rumus bernilai sama untuk pendekat terlawan maupun terlindung:

L_T = Arus lalu lintas yang belok kiri

R_T = Arus lalu lintas yang belok kanan

P_{LT} = Rasio kendaraan belok kiri

P_{RT} = Rasio kendaraan belok kanan

Kemudian untuk kendaraan tidak bermotor yang terdapat pada tiap pendekat dihitung rasionya dengan membagi arus kendaraan tidak bermotor (Q_{UM}) kend/jam dengan arus kendaraan bermotor (Q_{MV}) kend/jam, dimana perhitungan ini berfungsi untuk menentukan faktor penyesuaian hambatan samping pada tiap kode pendekat.

$$P_{UM} = \frac{Q_{UM}}{Q_{MV}}$$

Dimana :

P_{UM} = Rasio kendaraan tidak bermotor

Q_{UM} = Arus kendaraan tidak bermotor (smp/jam)

Q_{MV} = Arus kendaraan bermotor (smp/jam)

2.7 Kinerja Alat Pemberi Isyarat Lampu

2.7.1 Fase Sinyal

Sebagai pedoman awal, pengaturan dua fase dicoba sebagai kejadian dasar, karena biasanya menghasilkan kapasitas yang lebih besar dan tundaan rata-rata lebih rendah dari pada tipe fase sinyal lain dengan pengatur fase yang biasa dengan pengatur fase konvensional. Arus berangkat belok kanan pada fase yang berbeda dari gerakan lurus langsung memerlukan lajur (lajur R_T) terpisah. Pengaturan terpisah gerakan belok kanan biasanya hanya dilakukan berdasarkan pertimbangan kapasitas jika arus melebihi 200 smp/ jam. Hal ini dilakukan untuk keselamatan lalu lintas dalam keadaan tertentu.

2.7.2 Waktu Hijau Dan Waktu Hilang

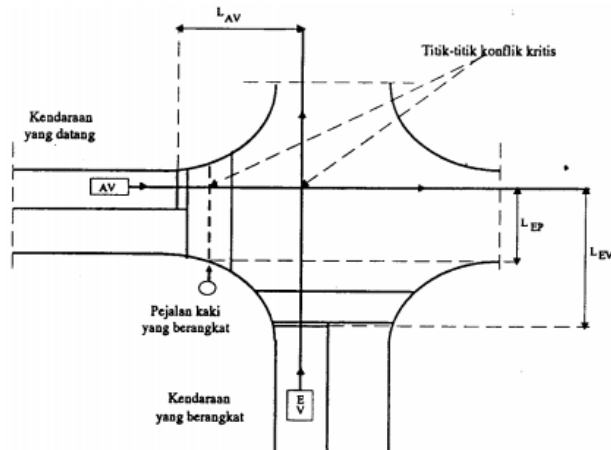
Untuk keperluan analisa operasional dan perencanaan, disarankan untuk membuat suatu perhitungan rinci waktu antar hijau untuk waktu pengosongan dan waktu hilang dengan formulir SIG-III. Analisis untuk keperluan perencanaan, nilai normal untuk waktu hijau antara selengkapnya dapat dilihat pada table berikut:

Tabel 2. 6 Waktu Antar Hijau.

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

Sumber : MKJI, 1997.

Waktu merah semua (all Red) 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 (melewati garis henti pada awal sinyal hijau) pada titik yang sama. Jadi merah semua (all red) merupakan fungsi dari kecepatan dan jarak dari kendaraan yang berangkat dan datang dari garis henti sampai ketitik konflik dan panjang dari kendaraan berangkat.



Gambar 2.6 Titik Konflik Kritis Dan Jarak Untuk Keberangkatan Dan Kedatangan

Sumber : MKJI, 1997

Titik konflik kritis pada masing – masing fase (I) adalah titik yang menghasilkan waktu merah semua terbesar.

Merah semua $A_t =$

$$\left[\frac{(L_{EV} + L_{ev})}{L_{EV}} - \frac{L_{AV}}{V_{AV}} \right]_{MAX}$$

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.

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 I_{EV} tergantung dari komposisi lalu-lintas dan kondisi jalan pada lokasi. Nilai-nilai berikut untuk sementara dapat dipilih dengan ketiadaan aturan di Indonesia sebagai berikut:

- a. Kecepatan kendaraan yang datang
 $V_{AV} = 10$ m/det (kendaraan bermotor)
- b. Kecepatan kendaraan yang berangkat
 $V_{EV} = 10$ m/det (kendaraan bermotor)
3m/det (kendaraan tidak bermotor mis. sepeda)
1,2 m/ det (pejalan kaki)

c. Panjang kendaraan yang berangkat

IEV = 5 m (LV atau HV)

2 m (MC atau UM)

Apabila periode merah semua untuk masing-masing akhir fase telah ditetapkan, waktu hilang (LTI) untuk simpang dapat dihitung sebagai jumlah dari waktu-waktu antar hijau :

$$LTI = \sum(\text{Merah Semua} + \text{Kuning})_i = \sum IGi \dots \dots \dots$$

Dimana:

LTI = Waktu hilang

IGi = Waktu antar hijau

Panjang waktu kuning pada sinyal lalu lintas perkotaan di Indonesia biasanya adalah 3,0 detik – 5,0 detik.

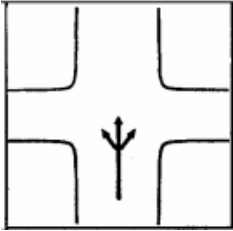
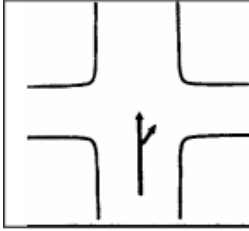
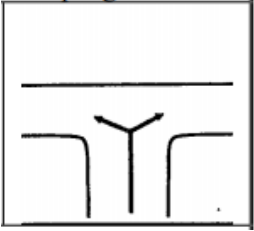
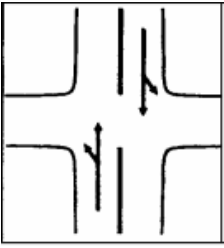
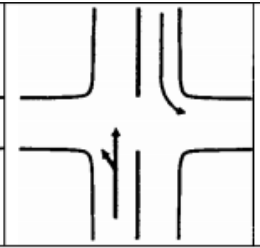
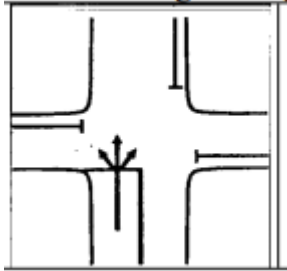
2.7.3 Penentuan Waktu Sinyal

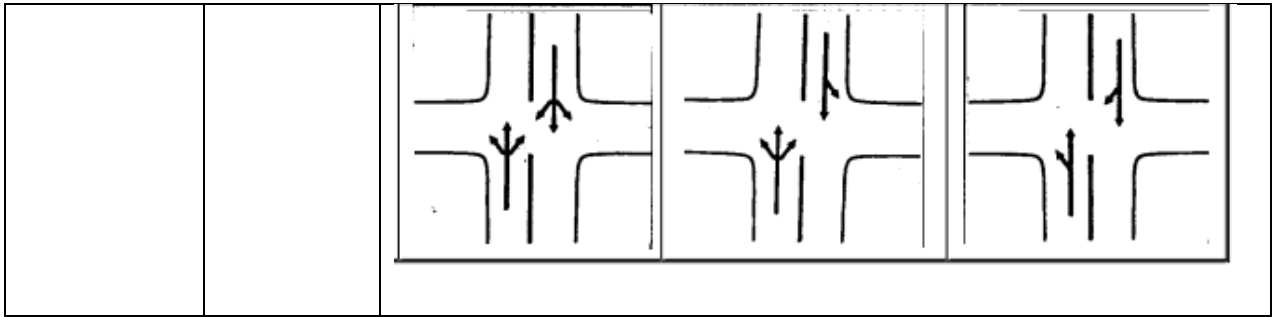
1. Tipe pendekat

Menentukan tipe dari setiap pendekat terlindung (P) atau terlawan (O) dengan melihat dari gambar rencana. Apabila dua gerakan lalu lintas pada suatu pendekat diberangkatkan pada fase yang berbeda harus dicatat pada baris terpisah dan diperlakukan sebagai pendekat dalam perhitungan selanjutnya. Apabila suatu pendekat mempunyai nyala hijau pada dua fase dimana pada keadaan tersebut tipe lajur dapat berbeda untuk masing-masing fase, satu baris sebaiknya digunakan untuk mencatat data masing-masing fase dan satu baris untuk digabungkan pada pendekat tersebut. Tipe pendekat sesuai dengan ketentuan dibedakan menjadi 2 yaitu:

- Terlindung (P) yaitu arus berangkat tanpa konflik antara gerakan lalu lintas (belok kanan dan lurus) dari arah berlawanan.
- Terlawan (O) yaitu arus berangkat dengan konflik antara gerakan lalu lintas belok kanan, gerakan lurus atau belok kiri dari bagian pendekat dengan lampu hijau pada fase yang sama.

Tabel 2. 7 Pola Tipe Pendekat

Tipe pendekat	Keterangan	Contoh pola-pola pendekatan		
Terlindung P	Arus berangkat tanpa konflik dengan lalu lintas dari arah berlawanan	<p>Jalan Satu Arah</p> 	<p>Jalan Satu Arah</p> 	<p>Simpang T</p> 
		<p>Jalan Dua Arah</p> 	<p>Gerakan Belok Kanan Terbatas</p> 	
		<p>Jalan Dua Arah, Fase Sinyal Terpisah Untuk Masing-Masing Arah</p> 		
Terlawan O	Arus berangkat dengan konflik dengan lalu lintas dari arah berlawanan	<p>Jalan dua arah, arus berangkat dari arah-arah berlawanan dalam fase yang sama. Semua belok kanan tidak terbatas.</p>		



Sumber: MKJI, 1997

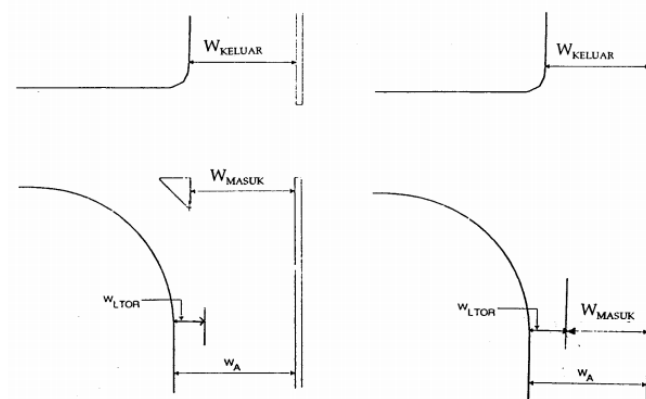
2. Lebar pendekat efektif

Lebar efektif (W_E) dapat dihitung berdasarkan informasi tentang lebar pendekat (W_A), lebar masuk (W_{MASUK}) dan lebar keluar (W_{KELUAR}), dan rasio lalu lintas berbelok.

a. Prosedur untuk pendekat tanpa belok kiri langsung (LTOR) Lebar keluar (hanya untuk pendekat tipe P)

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 lalu lintas lurus saja (yaitu $Q = Q_{ST}$).

b. Prosedur untuk pendekat dengan belok kiri langsung (LTOR) Lebar efektif W_e dapat dihitung untuk pendekat dengan pulau lalulintas, penentuan lebar masuk (W_{MASUK}) sebagaimana di tunjukkan pada Gambar. $W_{AMASUK} = W_A - W_{LTOR}$



Gambar 2. 7 Pendekatan Dengan Pulau Dan Tanpa Pulau Lalu Lintas

Sumber : MKJI, 1997

- Jika $W_{L\text{TOR}} \geq 2$ m, hal ini dianggap bahwa kendaraan LTOR dapat mendahului antrian kendaraan lurus dan belok kanan dalam pendekat selama sinyal merah.

1) Langkah 1, keluarkan lalu-lintas belok-kiri langsung $Q_{L\text{TOR}}$ dari perhitungan selanjutnya pada Formulir SIG-IV (yaitu $Q = Q_{\text{ST}} + Q_{\text{RT}}$) Tentukan lebar pendekat efektif sebagai berikut:

$$W_e = \text{Min} \begin{cases} W_A - W_{L\text{TOR}} \\ W_{\text{MASUK}} \end{cases}$$

2) Langkah A-2, memeriksa lebar keluar (hanya untuk pendekat tipe P) jika $W_{\text{KELUAR}} < W_e \times (1 - P_{\text{RT}})$, W_e sebaiknya diberi nilai baru sama dengan W_{KELUAR} , dan analisa penentuan waktu sinyal untuk pendekat ini dilakukan hanya untuk bagian lalu-lintas lurus saja (yaitu $Q = Q_{\text{ST}}$).

- Jika $W_{L\text{TOR}} < 2$ m, dalam hal ini dianggap bahwa kendaraan LTOR tidak dapat mendahului antrian kendaraan lainnya dalam pendekat selama sinyal lemah.

1) Langkah B-1, sertakan $Q_{L\text{TOR}}$ pada perhitungan selanjutnya.

$$W_e = \text{Min} \begin{cases} W_A \\ W_{\text{MASUK}} + W_{L\text{TOR}} \\ W_A \times (1 + P_{L\text{TOR}} - W_{L\text{TOR}}) \end{cases}$$

2) Langkah B-2, periksa lebar keluar (hanya untuk pendekat tipe P). Jika $W_{\text{KELUAR}} < W_e \times (1 - P_{\text{RT}} - P_{L\text{TOR}})$, 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 (yaitu $Q = Q_{\text{ST}}$).

3. Arus jenuh dasar

Arus jenuh dasar (S_0) ditentukan untuk setiap pendekat seperti diuraikan dibawah ini, untuk pendekat tipe P (arus terlindung) digunakan persamaan:

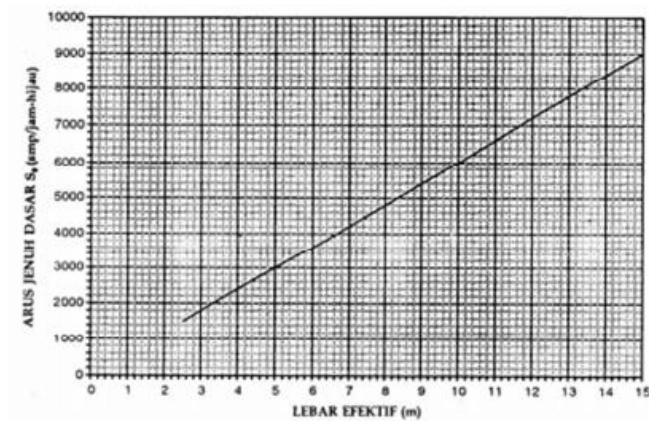
$$S_0 = 600 \times W_e$$

Dimana:

S_0 = Arus jenuh dasar (smp/jam hijau)

W_e = Lebar pendekat efektif (m)

Atau dapat ditentukan dengan menggunakan grafik dibawah ini.

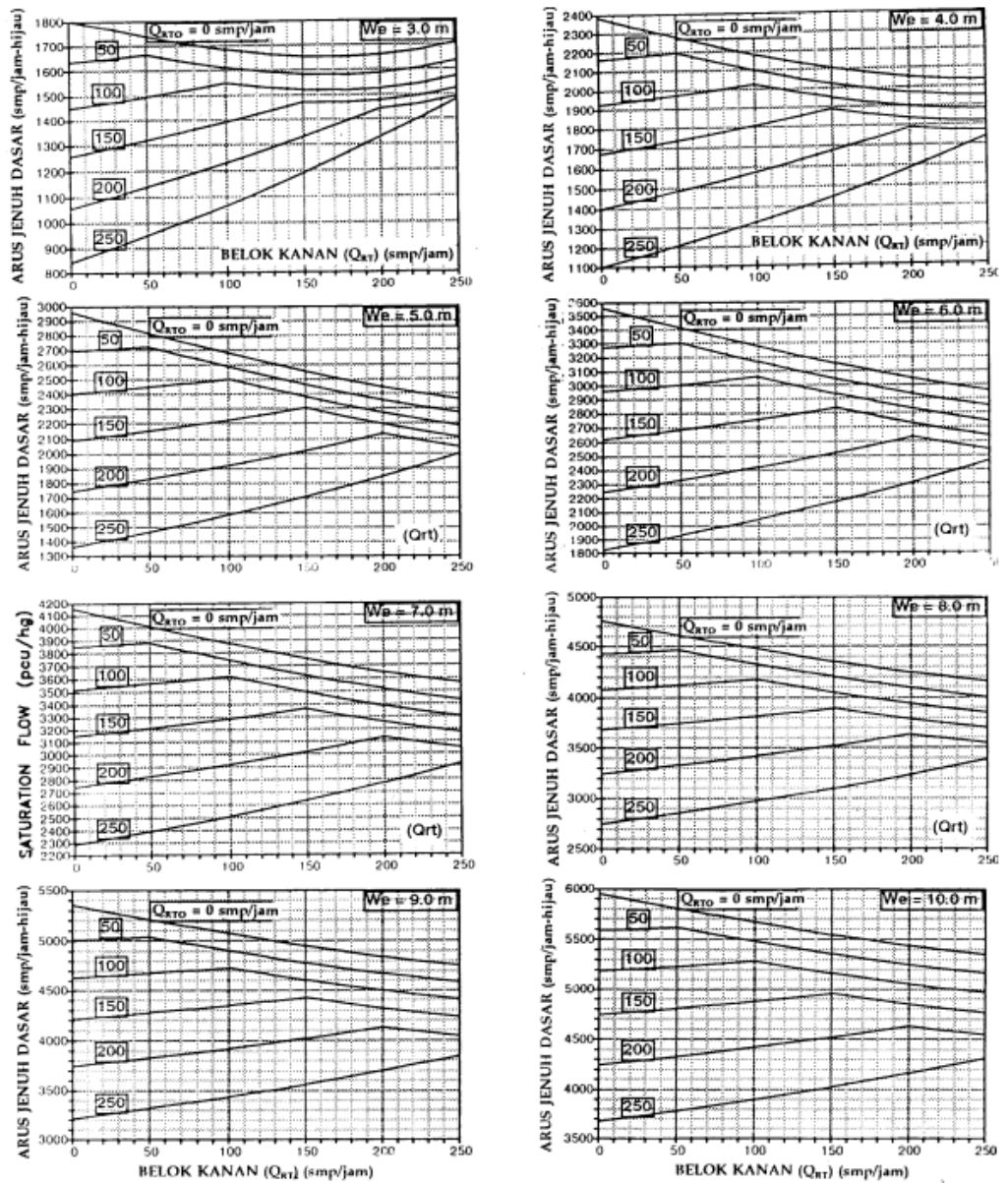


Gambar 2. 8 Arus Jenuh Dasar Untuk Pendekat P

Sumber MKJI 1997

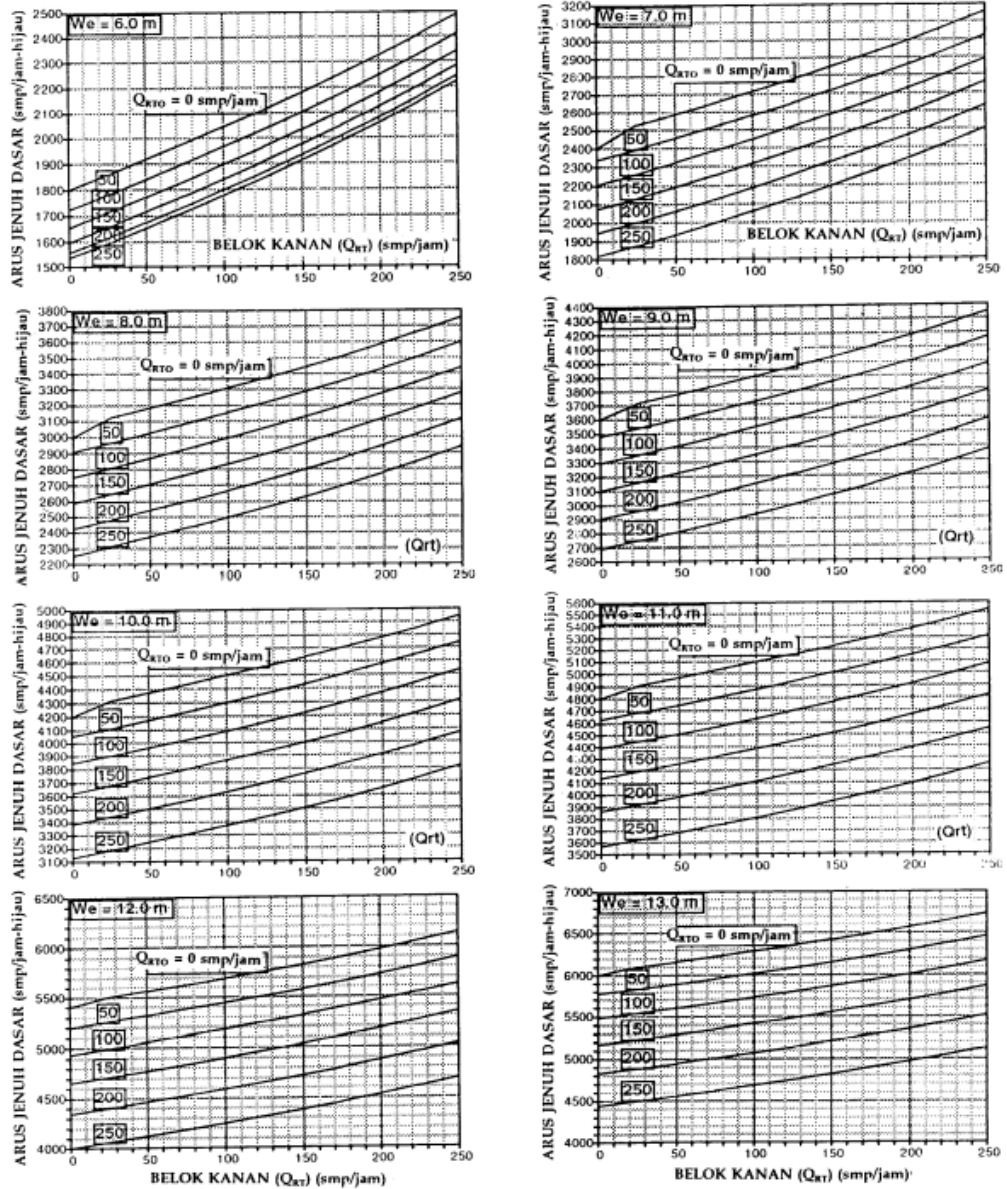
Untuk pendekat tipe O, arus jenuh dasar (S_0) ditentukan berdasarkan 2 grafik, yaitu grafik untuk pendekat tanpa lajur belok-kanan terpisah dan grafik untuk pendekat dengan lajur belok kanan terpisah) sebagai fungsi dari W_e , Q_{RT} , dan Q_{RTO} .

Gunakanlah gambar-gambar tersebut untuk mendapatkan nilai arus jenuh pada keadaan dimana lebar pendekat lebih besar dan lebih kecil dari W sesungguhnya dan hitung hasil dengan interpolasi.



Gambar 2. 9 Pendekat-Pendekat Tipe O Tanpa Belok Kanan Terpisah

Sumber : MKJI, 1997



Gambar 2. 10 Pendekat-pendekat tipe O dengan belok kanan terpisah
 Sumber : MKJI, 1997

4. Faktor penyesuaian

Nilai faktor penyesuaian untuk menentukan arus jenuh dasar pada pendekat tipe P dan O adalah sebagai berikut:

- Faktor penyesuaian dari ukuran kota (Fcs)

Sebagai fungsi dari ukuran kota, berikut faktor penyesuaian kota pada tabel dibawah ini.

Tabel 2. 8 Penyesuaian Ukuran Kota

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

Sumber: MKJI 1997

- Faktor penyesuaian hambatan samping (F_{sf})

Sebagai fungsi dari jenis lingkungan jalan tingkat hambatan samping dan rasio kendaraan tak bermotor.

Tabel 2. 9 Faktor Penyesuaian Untuk Tipe Lingkungan Jalan,
Hambatan Samping, Dan Kendaraan Tak Bermotor (F_{SF})

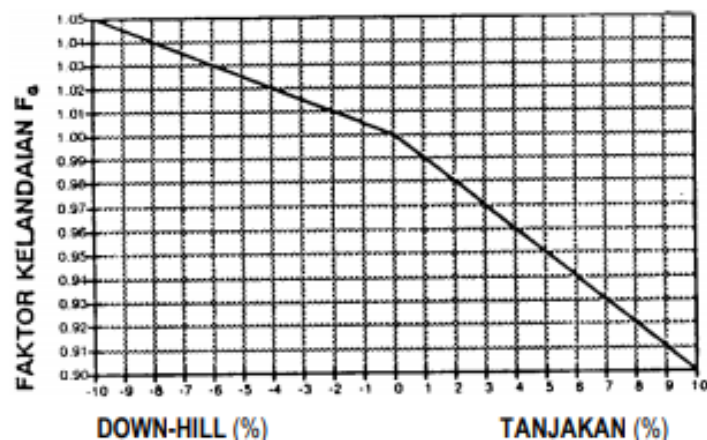
Lingkungan jalan	Hambatan Samping	Tipe fase	Rasio kendaraan tak bermotor					
			0,00	0,05	0,10	0,15	0,20	\geq 0,25
Komersial (COM)	Tinggi	Terlawan	0,93	0,88	0,84	0,79	0,74	0,70
	Tinggi	Terlindung	0,93	0,91	0,88	0,87	0,85	0,81
	Sedang	Terlawan	0,94	0,89	0,85	0,80	0,75	0,71
	Sedang	Terlindung	0,94	0,92	0,89	0,88	0,86	0,82
	Rendah	Terlawan	0,95	0,90	0,86	0,81	0,76	0,72
	Rendah	Terlindung	0,95	0,93	0,90	0,89	0,87	0,83
Pemukiman (RES)	Tinggi	Terlawan	0,96	0,91	0,86	0,81	0,78	0,72
	Tinggi	Terlindung	0,96	0,94	0,92	0,99	0,86	0,84
	Sedang	Terlawan	0,97	0,92	0,87	0,82	0,79	0,73
	Sedang	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
	Rendah	Terlindung	0,98	0,96	0,94	0,91	0,88	0,86

Akses Terbatas (RA)	T/S/R	Terlawan Terlindung	1,00	0,95	0,90	0,85	0,80	0,75
	T/S/R		1,00	0,98	0,95	0,93	0,90	0,88

Sumber: MKJI 1997

- Faktor penyesuaian kelandaian

Sebagai fungsi dari kelandaian, berikut faktor penyesuaian kelandaian pada grafik dibawah ini.



Gambar 2.11 Faktor Penyesuaian Untuk Kelandaian (F_G)

Sumber: MKJI 1997

- Faktor penyesuaian parkir

Sebagai fungsi jarak dari garis henti sampai kendaraan yang diparkir pertama dan lebar pendekat. Faktor ini juga diterapkan untuk kasus-kasus dengan panjang lajur belok kiri terbatas. Tetapi hal ini tidak perlu diterapkan jika lebar efektif ditentukan oleh lebar keluar.

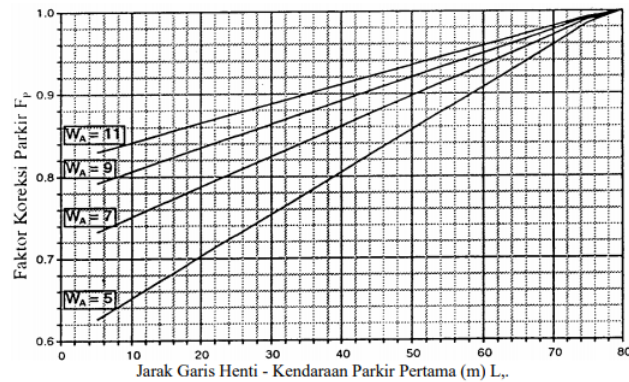
$$F_p = [L_p / 3 - (W_A - 2) \times (L_p / 3 - g / W_A)] / g$$

Dimana:

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

W_A = Lebar pendekat (m)

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



Gambar 2.12 Faktor Penyesuaian Untuk Pengaruh Parkir Dan Lajur Belok Kiri Yang Pendek (F_P)

Sumber : MKJI, 1997

- Faktor penyesuaian belok kanan (F_{RT})

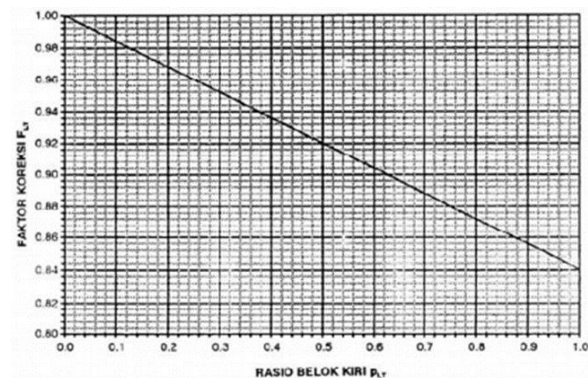
Faktor penyesuaian belok kanan ditentukan sebagai fungsi dan rasio kendaraan belok kanan P_{RT} . Persamaan dan gambar berikut ini digunakan untuk pendekatan tipe terlindung (P). tanpa median dan jalan dua arah, lebar efektifnya ditentukan oleh lebar masuk.

$$F_{RT} = 1,0 + P_{RT} \times 0,26$$

Dimana:

F_{RT} = Faktor penyesuaian belok kanan

P_{RT} = Faktor kendaraan belok kanan



Gambar 2.13 Faktor Penyesuaian Untuk Pengaruh Belok Kiri (F_{LT})

(Hanya berlaku untuk pendekatan tipe P tanpa belok kiri langsung, lebar efektif ditentukan oleh lebar masuk)

Sumber : MKJI, 1997

5. Nilai Arus Jenuh (S) Yang Disesuaikan

Nilai arus jenuh yang disesuaikan dihitung sesuai dengan persamaan sebagai berikut :

$$S = S_o \times F_{CS} \times F_{SF} \times F_G \times F_P \times F_{RT} \times F_{LT} \dots \text{smp / jam hijau}$$

Dimana :

S = Nilai arus jenuh

S_o = Arus jenuh dasar

F_{SF} = Faktor penyesuaian ukuran kota

F_{CS} = Faktor penyesuaian hambatan samping

F_G = Faktor penyesuaian kelandaian

F_P = Faktor penyesuaian parkir

F_{RT} = Faktor penyesuaian belok kanan

F_{LT} = Faktor penyesuaian belok kiri

Jika suatu pendekatan mempunyai sinyal hijau lebih dari satu fase, yang arus jenuhnya telah ditentukan secara terpisah pada baris yang berbeda dalam Tabel, maka nilai arus jenuh kombinasi harus dihitung secara proporsional terhadap waktu hijau masing-masing fase.

6. Rasio arus jenuh

Data – data arus lalu lintas pada masing-masing pendekatan (Q) untuk pendekatan terlindung (P) atau untuk pendekatan terlawan (O). Hasilnya dimasukkan ke dalam baris untuk fase gabungan tersebut. Rasio arus (FR) masing-masing pendekatan dihitung. Perhitungannya adalah sebagai berikut :

$$FR = Q/S$$

Dimana:

Q = Arus lalu lintas masing-masing pendekatan (smp/jam)

S = Arus jenuh yang disesuaikan (smp/jam)

Rasio arus kritis (FR_{crit} = tertinggi) pada masing-masing fase diberi tanda dengan melingkarinya.

Rasio arus simpang (IFR) dihitung sebagai jumlah dari nilai-nilai FR yang dilingkari (=kritis).

$$IFR = \Sigma (FR_{crit})$$

Dimana:

FR = Rasio arus simpang

Rasio fase (PR) masing-masing fase dihitung sebagai rasio antara FRcrit dan IFR dan masukkan hasilnya pada kolom 20.

$$PR = FR_{crit} / IFR$$

Dimana :

FR = Rasio arus simpang

PR = Rasio fase

7. Waktu siklus sebelum penyesuaian

Waktu siklus sebelum penyesuaian (c_{ua}) dihitung untuk pengendalian waktu tetap, dapat diperoleh dengan menggunakan persamaan berikut ini atau dengan menggunakan grafik pada Gambar dibawah .

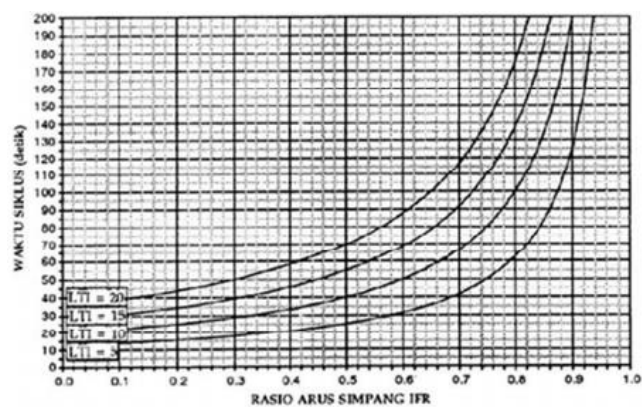
$$c_{ua} = (1,5 \times LTI + 5) / (I - IFR)$$

Dimana:

c_{ua} = Waktu siklus sebelum penyesuaian sinyal (det)

LTI = Waktu hilang total per siklus (det)

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



Gambar 2. 14 Penetapan Waktu Siklus Sebelum Penyesuaian

Sumber: MKJI, 1997

Jika alternatif rencana fase sinyal dievaluasi, maka yang menghasilkan nilai terendah dari $(IFR + LT / c)$ adalah yang paling efisien.

Tabel 2. 10 Waktu Siklus Yang Disarankan Untuk Keadaan Yang Berbeda

Tipe pengaturan	Waktu siklus yang layak (det)
Pengaturan dua-fase	40 – 80
Pengaturan tiga-fase	50 – 100
Pengaturan empat-fase	90 - 130

Sumber: MKJI 1997

- Waktu Hijau

Waktu hijau pada masing-masing fase dihitung dengan menggunakan persamaan sebagai berikut:

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

Dimana:

g_i = Tampilan waktu hijau pada fase i (det)

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

LTI = Waktu total hilang per siklus

PR_i = Rasio fase $FR_{crit} / \Sigma FR_{crit}$

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.

- Waktu siklus yang disesuaikan

Waktu siklus yang disesuaikan (c) berdasarkan pada waktu hijau dan waktu hilang (LTI) yang diperoleh, dan hasilnya dimasukkan pada bagian terbawah dalam kotak dengan tanda waktu siklus yang disesuaikan.

Waktu siklus yang disesuaikan diperoleh dengan menggunakan persamaan sebagai berikut :

$$c = \Sigma g + LTI$$

Dimana :

c = Waktu siklus

LTI = Waktu hilang

g = Waktu hijau

2.7.4 Kapasitas

Kapasitas adalah arus lalu lintas maksimum yang dapat dipertahankan (tatap pada suatu bagian jalan dalam kondisi geometrik, lingkungan dan komposisi lalu lintas tertentu. Kapasitas dinyatakan dalam kend/ jam.

1. Kapasitas persimpangan

Kapasitas pada masing-masing pendekatan dapat dihitung dengan menggunakan persamaan :

$$C = S \times g / c$$

Dimana :

C = Kapasitas (smp/jam) = arus jenuh dikalikan rasio hijau ($S \times GR$)

S = Nilai arus jenuh

c = Waktu siklus

g = Waktu hijau

Derajat kejenuhan, DS untuk masing-masing pendekatan dapat dihitung dengan menggunakan persamaan :

$$DS = Q / C$$

Dimana :

DS = Derajat kejenuhan

C = Kapasitas (smp/jam) = arus jenuh dikalikan rasio hijau ($S \times GR$)

Q = Arus lalu lintas (smp/jam)

Sebagai kontrol jika penentuan waktu sinyal sudah dikerjakan secara benar, DS akan hampir sama dalam semua pendekatan – pendekatan kritis.

2. Keperluan untuk perubahan

Jika waktu siklus yang dihitung lebih besar dari batas atas yang disarankan pada bagian yang sama, derajat kejenuhan (DS) umumnya

juga lebih tinggi dari 0,85. Ini berarti bahwa simpang tersebut mendekati lewatjenuh, yang akan menyebabkan antrian panjang pada kondisi lalu-lintas puncak. Kemungkinan untuk menambah kapasitas simpang melalui salah satu dari tindakan berikut, oleh karenanya harus dipertimbangkan:

a. Penambahan lebar pendekat

Jika mungkin untuk menambah lebar pendekat, pengaruh terbaik dari tindakan seperti ini akan diperoleh jika pelebaran dilakukan pada pendekat – pendekat dengan nilai FR kritis tertinggi

b. Perubahan fase sinyal

Jika pendekat dengan arus berangkat terlawan (tipe O) dan rasio belok kanan (PRT) tinggi menunjukkan nilai FR kritis yang tinggi ($FR > 0,8$), suatu rencana fase alternatif dengan fase terpisah untuk lalu-lintas belok-kanan mungkin akan sesuai. Penerapan fase terpisah untuk lalu- lintas belok kanan mungkin harus disertai dengan tindakan pelebaran juga. Jika simpang dioperasikan dalam empat fase dengan arus berangkat terpisah dari masing-masing pendekat, karena rencana fase yang hanya dengan dua fase mungkin memberikan kapasitas lebih tinggi, asalkan gerakan-gerakan belok kanan tidak terlalu tinggi (< 200 smp/jam).

c. Pelarangan gerakan-gerakan belok kanan

Pelarangan bagi satu arah lebih gerakan belok kanan biasanya menaikkan kapasitas terutama jika hal itu menyebabkan pengurangan jumlah fase yang diperlukan.

2.8 Perilaku Lalu-Lintas

Penentuan perilaku lalu-lintas pada simpang bersinyal berupa panjang antrian, jumlah kendaraan terhenti, dan tundaan

2.8.1 Panjang Antrian

Panjang antrian adalah jumlah rata-rata kendaraan dalam suatu pendekat pada saat awal sinyal hijau. Jumlah antrian smp (NQ_1) yang tersisa

dari fase hijau sebelumnya. Perhitungannya menggunakan persamaan sebagai berikut:

Untuk $DS > 0,5$:

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

Untuk $DS < 0,5$; $NQ_1 = 0$

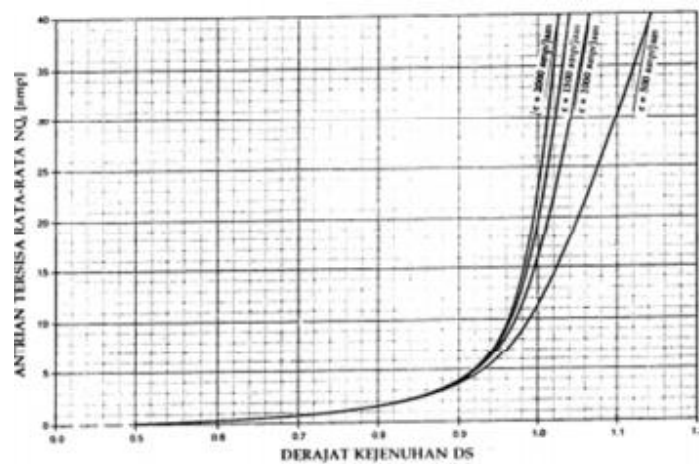
Dimana:

NQ_1 = Jumlah smp yang tersisa dari fase hijau sebelumnya

DS = Derajat kejenuhan

GR = Rasio hijau

C = Kapasitas (smp/jam) = arus jenuh dikalikan rasio hijau ($S \times GR$)



Gambar 2. 15 Jumlah kendaraan antri (smp) yang tersisa dari fase hijau sebelumnya (NQ_1)

Sumber: MKJI, 1997

Jumlah antrian smp yang datang selama fase merah (NQ_2) dihitung dengan menggunakan persamaan:

$$NQ_2 = c \times \frac{1-GR}{1-GR \times DS} \times \frac{Q}{3600}$$

Dimana:

NQ_2 = Jumlah smp yang datang selama fase merah

DS = Derajat kejenuhan

GR = Rasio hijau

c = Waktu siklus (det)

Q_{masuk} = Arus lalu lintas pada tempat masuk diluar LTOR (smp/jam)

Penjumlahan kendaraan antri dapat dihitung dengan menjumlahkan NQ_1 dan NQ_2 dengan persamaan:

$$NQ = NQ_1 + NQ_2$$

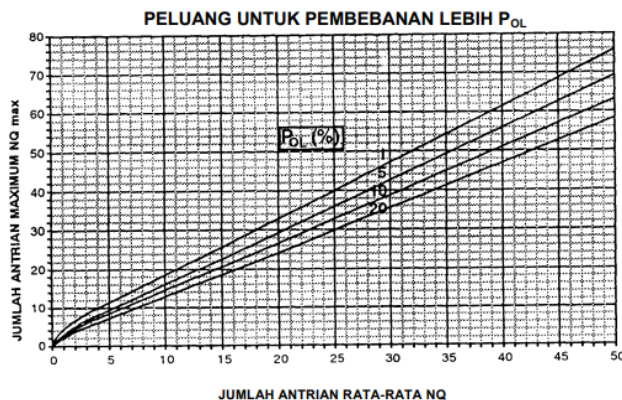
Dimana:

NQ = Jumlah kendaraan antri

NQ_1 = Jumlah smp yang tersisa dari fase hijau sebelumnya

NQ_2 = Jumlah smp datang selama fase merah

Untuk menyesuaikan nilai NQ dalam hal peluang yang diinginkan untuk terjadinya pembebanan lebih P_{OL} (%) dan didapat NQ_{MAX} . Untuk perancangan dan perencanaan disarankan $P_{OL} \leq 5\%$, untuk operasi suatu nilai $P_{OL} = 5-10\%$ mungkin dapat diterima. Nilai NQ_{MAX} diperoleh berdasarkan grafik pada gambar berikut.



Gambar 2. 16 Perhitungan Jumlah Antrian (NQ_{MAX}) Dalam smp

Sumber: MKJI, 1997

Untuk menghitung panjang antrian pada masing-masing kaki persimpangan digunakan persamaan sebagai berikut:

$$QL = \frac{NQ_{MAX} \times 20}{W_{MASUK}}$$

Dimana:

QL = Panjang antrian (m)

NQ_{MAX} = Jumlah kendaraan antri

W_{MASUK} = Jumlah kendaraan antri

2.8.2 Kendaraan Terhenti

Angka henti (NS) masing-masing pendekat yang didefinisikan sebagai jumlah rata-rata berhenti per smp (termasuk berhenti berulang dalam antrian) sebelum melewati persimpangan, dihitung dengan persamaan:

$$NS = 0,9 \times \frac{NQ}{Q \times c} \times 3600$$

Dimana:

NS = Laju henti

C = Waktu siklus (det)

NQ = Arus lalu lintas (smp/jam)

Q = Arus lalu lintas (smp/jam)

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

$$NS_{TOT} = \frac{\sum N_{SV}}{Q_{TOT}}$$

Dimana:

N_{TOT} = Laju henti rata-rata

N_{SV} = Jumlah kendaraan terhenti s

Q = Arus lalu lintas (smp/jam)

2.8.3 Tundaan

1. Tundaan adalah waktu menunggu yang disebabkan interaksi lalu lintas dengan gerakan lalu lintas yang bertentangan. Menghitung tundaan lalu lintas rata-rata setiap pendekat (DT) akibat pengaruh timbal balik dengan gerakan-gerakan lainnya pada simpang sebagai berikut (berdasarkan pada Akcelik 1988). Dapat dihitung dengan menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$DT = c \times A + \frac{NQ_1 \times 3600}{c}$$

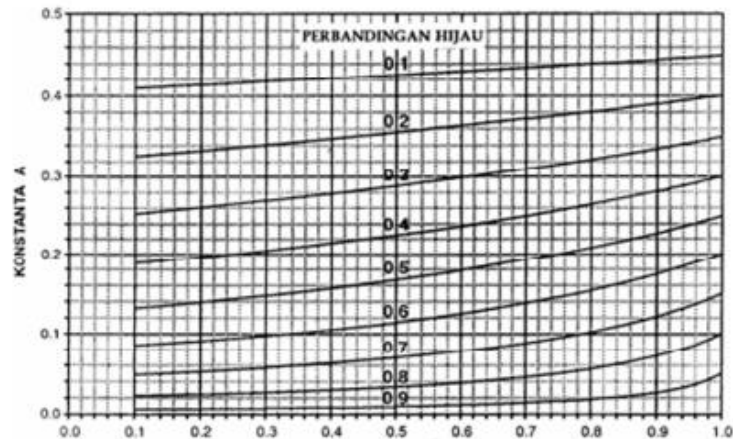
Dimana:

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



Gambar 2.17 Penetapan Tundaan Lalu-Lintas Rata-Rata

Sumber: MKJI, 1997

2. Tundaan geometrik rata-rata (DG) untuk masing-masing pendekat yang diakibatkan adanya perlambatan dan percepatan ketika menunggu giliran pada suatu simpang atau ketika dihentikan oleh lampu merah, dengan menggunakan persamaan:

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

Dimana:

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

P_{SV} = Rasio kendaraan terhenti pada pendekat = $\text{Minc}(\text{NS}, 1)$

3. Tundaan rata-rata (D) adalah tundaan lalu lintas rata-rata ditambah dengan tundaan geometrik rata-rata, perhitungannya menggunakan persamaan sebagai berikut :

$$D = DT + DG$$

Dimana :

D = Tundaan rata-rata

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

DG = Tundaan geometrik rata – rata untuk pendekat j (det/smp)

4. Tundaan total adalah tundaan yang didapatkan dengan hasil perkalian antara tundaan rata-rata (D) dengan arus lalu lintas (Q), perhitungannya menggunakan persamaan sebagai berikut :

$$\text{Tundaan Total} = D \times Q$$

Dimana :

D_{Total} = Tundaan geometrik rata-rata untuk pendekat j (det/smp)

D = Tundaan rata – rata (det/ smp)

Q = Arus lalu lintas (smp/ jam)

5. Tundaan rata-rata untuk seluruh simpang (D1) Dihitung dengan membagi jumlah nilai tundaan dengan arus total (Q_{TOT}) perhitungannya menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$D1 = \frac{\Sigma(Q \times D)}{Q_{\text{TOT}}}$$

Dimana:

D1= Tundaan rata-rata untuk seluruh simpang (det/smp)

D = Tundaan rata-rata

Q = Arus lalu-lintas (smp/jam)

Tundaan rata-rata dapat digunakan sebagai indicator tingkat pelayanan dari masing-masing pendekat, demikian juga dari suatu simpang secara keseluruhan.

2.9 Tingkat Pelayanan Jalan

Menurut (MKJI 1997, n.d.), perilaku lalu lintas diwakili oleh tingkat pelayanan *Level of Service* (LOS) yaitu ukuran kualitatif yang mencerminkan persepsi pengemudi tentang kualitas mengendarai kendaraan. Tingkat pelayanan *Level of Service* (LOS) di klasifikasikan sebagai berikut :

2.9.1 Tingkat Pelayanan A

1. Kondisi arus bebas dengan volume lalu lintas rendah dan kecepatan tinggi.

2. Kepadatan lalu lintas sangat rendah dengan kecepatan yang dapat dikendalikan oleh pengemudi berdasarkan batasan kecepatan maksimum atau minimum dan kondisi fisik jalan.
3. Pengemudi dapat mempertahankan kecepatan yang diinginkannya tanpa atau dengan sedikit tundaan.

2.9.2 Tingkat Pelayanan B

1. Arus stabil dengan volume lalu lintas sedang dan kecepatan mulai dibatasi oleh kondisi lalu lintas.
2. Kepadatan lalu lintas rendah, hambatan internal lalu lintas belum mempengaruhi kecepatan.
3. Pengemudi masih punya kebebasan yang cukup untuk memilih kecepatannya dan jalur jalan yang digunakan.

2.9.3 Tingkat Pelayanan C

1. Arus stabil tetapi kecepatan dan pergerakan kendaraan dikendalikan oleh volume lalu lintas yang lebih tinggi.
2. Kepadatan lalu lintas meningkat dan hambatan internal meningkat
3. Pengemudi memiliki keterbatasan untuk memilih kecepatan, pindah lajur atau mendahului.

2.9.4 Tingkat Pelayanan D

1. Arus mendekati tidak stabil, volume lalu lintas tinggi, kecepatan masih di tolerir namun sangat terpengaruh oleh perubahan kondisi arus lalu lintas.
2. Kepadatan lalu lintas sedang, fluktuasi volume lalu lintas dan hambatan temporer dapat menyebabkan penurunan kecepatan yang besar (keterbatasan pada arus lalu lintas mengakibatkan kecepatan menurun).
3. Pengemudi memiliki kebebasan yang sangat terbatas dalam menjalankan kendaraan, kenyamanan rendah, tetapi kondisi ini masih dapat ditolerir untuk waktu yang sangat singkat.

2.9.5 Tingkat Pelayanan E

1. Arus lebih rendah dari pada tingkat pelayanan D dengan volume lalu lintas mendekati kapasitas jalan dan kecepatan sangat rendah.
2. Kepadatan lalu lintas tinggi karena hambatan internal lalu lintas tinggi.
3. Pengemudi mulai merasakan kemacetan-kemacetan durasi pendek.

2.9.6 Tingkat Pelayanan F

1. Arus tertahan dan terjadi antrian kendaraan yang panjang.
2. Kepadatan lalu lintas sangat tinggi dan volume rendah setelah terjadi kemacetan untuk durasi yang cukup lama.
3. Dalam keadaan antrian, kecepatan maupun volume turun sampai 0.

Tabel 2. 11 Tingkat Pelayanan Jalan Berdasarkan Tundaan

Tingkat Pelayanan	Tundaan (det/smp)	Keterangan
A	< 5	Baik Sekali
B	5,1 - 15	Baik
C	15,1 - 25	Sedang
D	25,1 - 40	Kurang
E	40,1 - 60	Buruk
F	> 60	Buruk Sekali

Sumber:MKJI 1997

Tabel 2. 12 Tingkat Pelayanan Dan Karakteristik Operasi Jalan Arteri Sekunder Dan Jalan Kolektor Sekunder

Tingkat Pelayanan	Karakteristik	Batas Lingkup (Q/C)
A	Kondisi lalu lintas dengan kecepatan tinggi, pengemudi dapat memilih kecepatan yang diinginkan tanpa hambatan	0,00 – 0,20
B	Arus stabil, tetapi kecepatan operasi mulai diatasi oleh kondisi lalu lintas, pengemudi memiliki kebebasan yang cukup untuk memilih kecepatan.	0,21 – 0,44
C	Arus stabil, tetapi kecepatan dan gerak kendaraan dikendalikan, pengemudi dibatasi dalam memilih kecepatan.	0,45 – 0,74
D	Arus mendekati tidak stabil, kecepatan masih dikendalikan, Q/C masih dapat ditolerir.	0,75 – 0,84
E	Volume lalu lintas mendekati atau berada pada kapasitas, arus tidak stabil, kecepatan terkadang terhenti.	0,85 – 1,00
F	Arus yang dipaksakan atau macet, kecepatan rendah, volume diatas kapasitas, antrian panjang dan terjadi hambatan-hambatan besar.	>1,00

Sumber : MKJI, 1997

2.10 Perangkat Lunak PTV Vissim

Vissim merupakan simulasi Mikroskopis, berdasarkan waktu dan perilaku yang dikembangkan untuk model lalu lintas perkotaan. Sehingga membuat *software* ini menjadi *software* yang berguna untuk mengevaluasi berbagai macam alternatif rekayasa transportasi dan tingkat perencanaan yang paling efektif.

Berikut beberapa penjelasan mengenai pengertian/definisi, kemampuan dan fitur-fitur atau menu yang tersedia pada *software* PTV Vissim yaitu:

2.10.1 Definisi Software PTV VISSIM

Menurut PTV-AG (2011), Vissim adalah perangkat lunak multimoda simulasi lalu lintas aliran mikroskopis, transportasi umum, waktu sinyal, perencanaan transportasi, dan pejalan kaki yang dihasilkan secara visual. Vissim menciptakan kondisi terbaik untuk menguji scenario lalu lintas. Vissim dikembangkan oleh PTV (Planung Transportasi Verkehr AG) di Karlsruhe, Jerman. Vissim berasal dari Jerman yang mempunyai nama “Verkehr Städten – SIMulations modell” yang berarti model simulasi lalu lintas perkotaan. Dalam penelitian ini digunakan perangkat lunak PTV Vissim (SP 9) Student Version

PTV Vissim adalah perangkat lunak berbasis mikrosimulasi yang dikembangkan untuk menganalisa karakteristik lalu lintas perkotaan, pejalan kaki, dan juga sistem angkutan umum. Lebih khusus, *Vissim* dapat digunakan untuk menganalisa aliran lalu lintas, seperti konfigurasi jalur, komposisi lalu lintas, pengoperasian transportasi umum, dan lain-lain (PTV, 2012 dalam Misdalena 2019).

2.10.2 Kemampuan Software PTV VISSIM

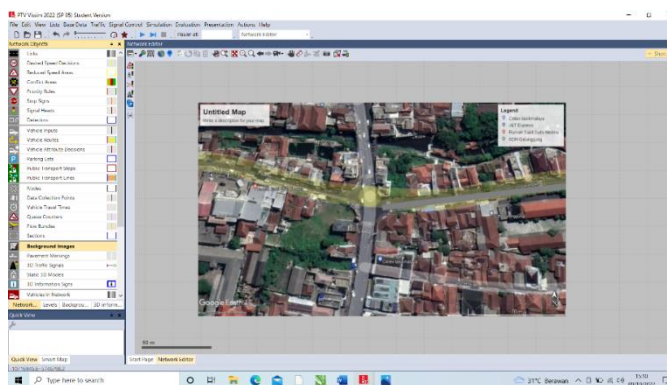
VISSIM menyediakan kemampuan animasi dengan perangkat tambahan dalam 3-D. Simulasi jenis kendaraan (yaitu dari mobil penumpang, truk, kereta api dan kereta api berat). Selain itu, klip video dapat direkam dalam program dengan kemampuan untuk secara dinamis mengubah pandangan dan perspektif. VISSIM merupakan jaringan jalan yang terdiri dari link konektor bukan link-node. Program ini dapat menganalisis lalu lintas dan operasi perjalanan yang masih terkendala seperti konfigurasi jalur, komposisi kendaraan, sinyal lalu lintas dan halte sehingga membuatnya menjadi alat yang berguna untuk evaluasi berbagai alternatif berdasarkan rekayasa transportasi dan langkah-langkah perencanaan efektivitas (PTV-AG 2015, dalam Basrin dkk., 2017).

2.10.3 Tahapan Pemodelan Simulasi

Menurut Putri, N.H. dan Irawan (2015) dalam melakukan simulasi mikroskopik dengan menggunakan vissim, terdapat beberapa parameter yang perlu ditentukan dan diinput agar model simulasi dapat berjalan. Secara singkat, parameter yang perlu diatur untuk menjalankan model simulasi pada simpang bersinyal adalah sebagai berikut:

1. Menginput *background*

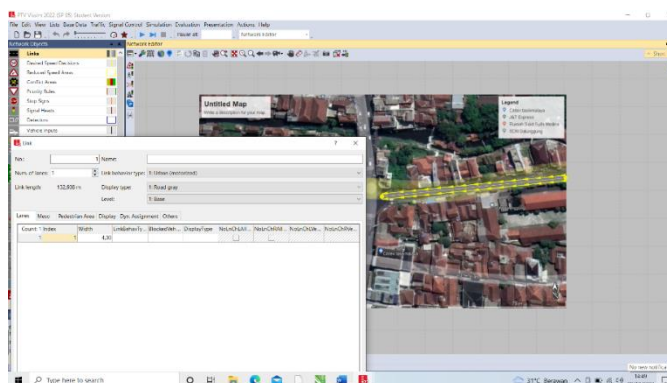
Menginput background digunakan untuk mempermudah pembuatan simulasi secara offline dengan cara input screenshot peta lokasi yang dibutuhkan. Peta lokasi diperoleh dari google earth atau pun google maps.



Gambar 2. 18 Menginput *Background*

2. Membuat jaringan jalan (*links*)

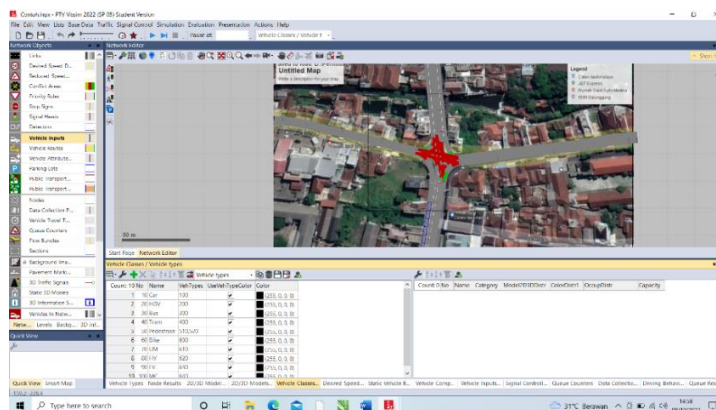
Pada tahap ini yaitu menggambarkan jaringan jalan sesuai dengan keadaan yang ada di lapangan, dengan mengatur lebar dan jumlah lajur yang ada.



Gambar 2. 19 Membuat Jaringan Jalan (*links*)

3. Menentukan jenis kendaraan

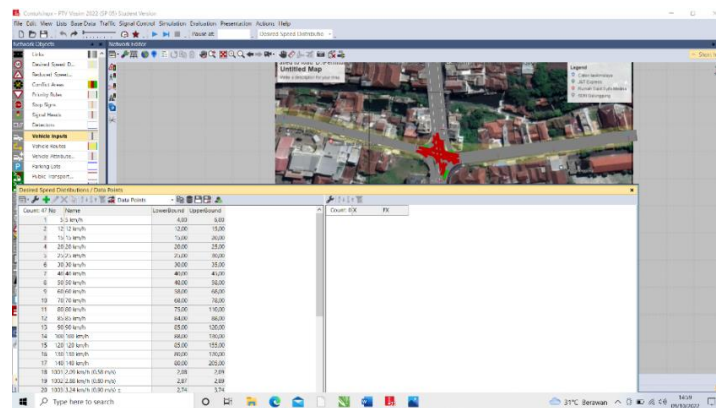
Pada tahap ini dilakukan penentuan jenis kendaraan berdasarkan data pengelompokan jenis kendaraan yang lewat pada persimpangan tersebut, yaitu kendaraan ringan (LV), kendaraan berat (HV), sepeda motor (MC), dan kendaraan tidak bermotor (UM).



Gambar 2. 20 Menentukan Jenis Kendaraan

4. Menginput kecepatan kendaraan

Kecepatan kendaraan ditentukan berdasarkan asumsi ketika pergerakan kendaraan saat nyala lampu hijau.

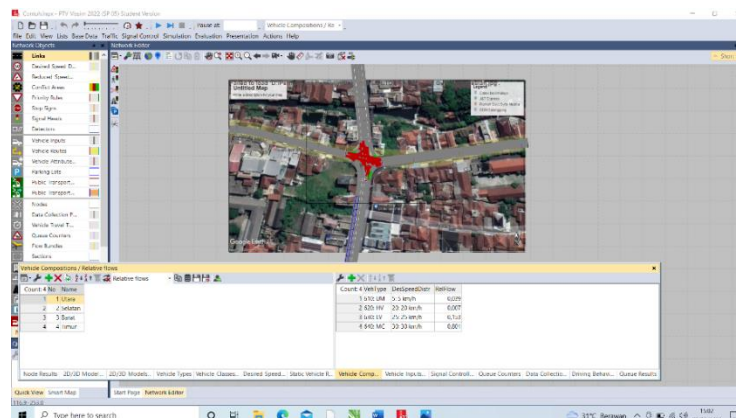


Gambar 2. 21 Menginput Kecepatan Kendaraan

5. Menginput komposisi kendaraan (*Vehicle Composition*)

Komposisi kendaraan adalah tahapan untuk menginput komposisi kendaraan berdasarkan jenis kendaraan yang telah ditentukan. Jumlah kendaraan yang ada dari masing-masing jenis kendaraan diinput pada

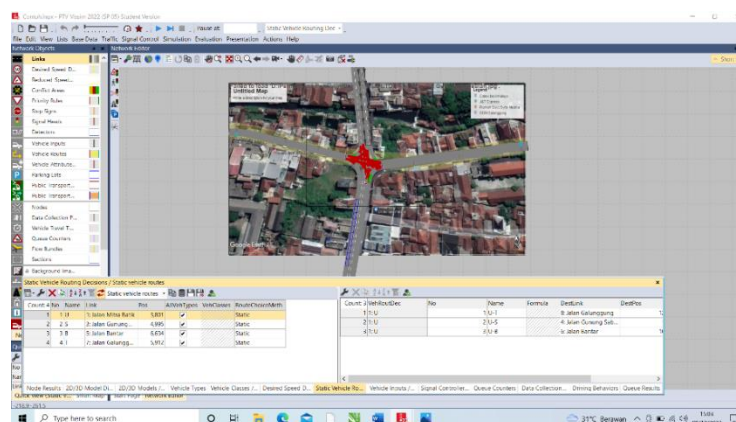
kolom RelFlow. Pada komposisi kendaraan ini dapat juga diinput jumlah pejalan kaki yang melewati zebra cross.



Gambar 2. 22 Menginput Komposisi Kendaraan (*Vehicle Composition*)

6. Menentukan rute perjalanan (*Vehicle Routes*)

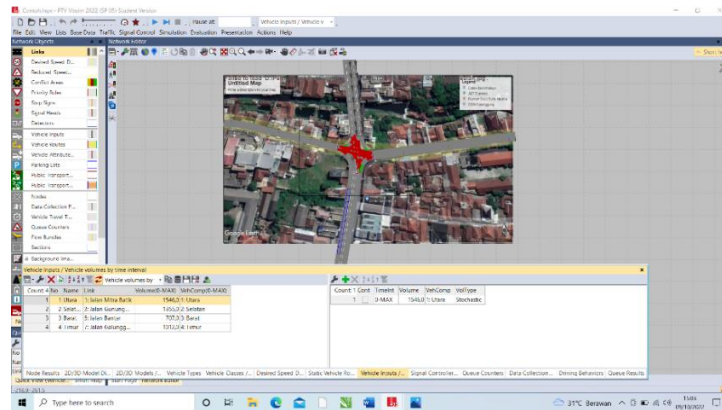
Penentuan rute perjalanan berfungsi untuk mengatur arah perjalanan kendaraan yang akan lewat. Pengaturan rute perjalanan ini dibuat berdasarkan apa yang terjadi di lapangan.



Gambar 2. 23 Menentukan Rute Perjalanan (*Vehicle Routes*)

7. Menginput jumlah kendaraan

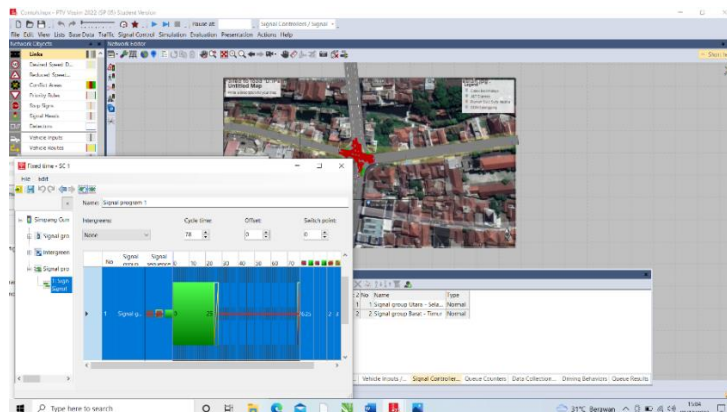
Menginput jumlah kendaraan yaitu memasukkan data volume kendaraan yang terjadi yang telah diperoleh dari hasil survei. Data kendaraan diinput berdasarkan masing - masing lengan simpang.



Gambar 2. 24 Menginput Jumlah Kendaraan

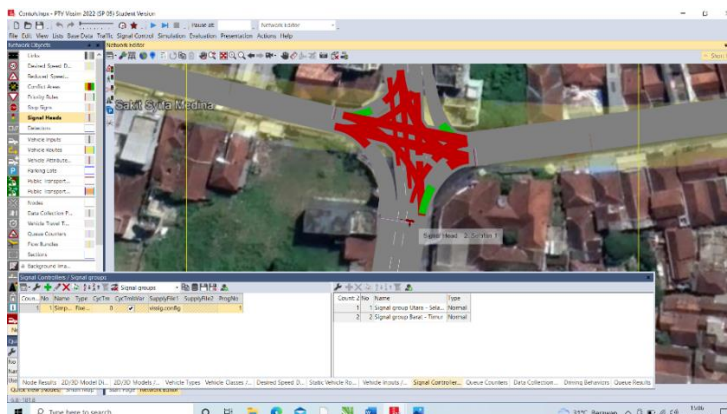
8. Mengatur sinyal lalu lintas

Pengaturan sinyal lalu lintas dengan tujuan untuk mengatur kendaraan yang lewat pada suatu simpang. Sinyal lalu lintas dapat diatur melalui signal control kemudian pilih signal controllers. Menu Edit Signal Control digunakan untuk membuat pengaturan sinyal lalu lintas.



Gambar 2. 25 Mengatur Sinyal Lalu Lintas

9. Menempatkan sinyal lalu lintas



Gambar 2. 26 Menempatkan Sinyal Lalu Lintas

