

BAB III

LANDASAN TEORI

3.1. Kapasitas Persimpangan

Kapasitas persimpangan adalah arus maksimum yang dapat melewati suatu persimpangan dengan kondisi lalu lintas, jalan raya dan lampu lalu lintas yang ada. Volume arus tersebut diukur atau diproyeksikan dalam periode 15 menit dan kapasitas dinyatakan dalam smp/jam.

Kondisi lalu lintas meliputi volume masing-masing jalan pada persimpangan, distribusi arus lalu lintas (belok kiri, lurus, dan belok kanan), penempatan dan penggunaan perhentian bis, penyeberang jalan di daerah persimpangan dan kendaraan parkir di daerah persimpangan.

Kondisi jalan raya meliputi geometrik persimpangan yang termasuk di dalamnya jumlah lajur, lebar lajur, kemiringan jalan dan penggunaan daerah persimpangan seperti tempat parkir dan lain-lain.

Kondisi lampu lintas meliputi waktu siklus, waktu merah, waktu hijau masing-masing jalan pada persimpangan, waktu kuning, waktu hilang, jumlah dan pergerakan fase.

Kapasitas persimpangan dengan lampu lalu lintas berdasarkan konsep arus jenuh. Besar angka arus jenuh didefinisikan sebagai jumlah arus maksimum yang dapat melewati suatu persimpangan jalan atau kelompok jalur pada kondisi lalu lintas dan jalan raya yang ada dengan asumsi bahwa jalan tersebut atau kelompok jalan tersebut memiliki waktu nyata 100 % sebagai lampu hijau efektif.

Angka arus jenuh diberi simbol (s) dan dinyatakan dalam smp/jam waktu hijau efektif.

$$s = s_o \times N \times f_w \times f_{HV} \times f_g \times f_p \times f_{bb} \times f_a \times f_{RT} \times f_{LT} \dots\dots\dots(3.1)$$

Keterangan.

s = arus jenuh total untuk semua lajur (smp/jam hijau)

s_o = arus jenuh ideal per lajur, biasanya 1900 kendaraan/jam hijau/lajur

N = banyaknya lajur terpakai

f_w = faktor penyesuaian untuk lebar lajur

f_{HV} = faktor penyesuaian untuk kendaraan berat

f_g = faktor penyesuaian untuk kemiringan jalan

f_p = faktor penyesuaian kendaraan parkir

f_{bb} = faktor penyesuaian untuk bis yang berhenti

f_a = faktor penyesuaian tipe daerah

f_{RT} = faktor penyesuaian untuk belok kiri

f_{LT} = faktor penyesuaian untuk belok kanan

Angka arus suatu jalan atau kelompok lajur didefinisikan sebagai perbandingan arus suatu jalan atau kelompok lajur (v) dengan angka arus jenuh (s). Angka arus diberi simbol ($\frac{v}{s}$) untuk jalan atau kelompok lajur i .

Menurut HCM (*Highway Capacity Manual*) 1994 untuk menentukan kapasitas jalan atau kelompok lajur i .

$$c_i = s_i \left(\frac{g_i}{C} \right) \dots\dots\dots(3.2)$$

Keterangan.

c_i = kapasitas kelompok lajur atau jalan i (smp/jam)

s_i = besar arus jenuh untuk kelompok lajur atau jalan i (smp/jam hijau)

g_i = waktu hijau (detik)

C = waktu siklus (detik)

Dalam analisa persimpangan, perbandingan besar arus dengan kapasitas $(\frac{v}{c})$

diberi simbol X dan variabel ini dinamakan tingkat kejenuhan.

$$X_i = \left(\frac{v}{c}\right)_i = \frac{v_i}{\left(s_i \cdot \left(\frac{g_i}{C}\right)\right)} = v_i \cdot \frac{C}{s_i \cdot g_i} \quad \dots\dots\dots (3.3)$$

Keterangan.

$X_i = \left(\frac{v}{c}\right)_i$ = rasio untuk kelompok jalan i

v_i = besar arus aktual untuk kelompok lajur atau jalan i (smp/jam)

s_i = besar arus jenuh untuk kelompok lajur atau jalan i (smp/jam hijau)

g_i = waktu hijau efektif (detik)

Nilai X_i berkisar antara 1,00 sampai 0,00 dimana untuk nilai $X_i = 1,00$ berarti

besar arusnya sama dengan kapasitas.

Perbandingan kritis besar arus dan kapasitas $\left(\frac{v}{c}\right)$ untuk persimpangan.

$$X_c = \sum \left(\frac{v}{s}\right)_a \cdot \left(\frac{C}{C-L}\right) \quad \dots\dots\dots (3.4)$$

Keterangan.

X_c = rasio kritis besar arus dengan kapasitas $\left(\frac{v}{c}\right)$ kritis

$\sum \left(\frac{v}{s}\right)_a$ = jumlah dari rasio arus kritis dari semua kelompok jalan i

C = waktu siklus (detik)

L = total waktu hilang per siklus (detik)

Persamaan diatas digunakan untuk mengevaluasi seluruh persimpangan jalan yang berhubungan dengan geometrik dan waktu siklus yang ada juga untuk mengestimasi waktu lampu lalu lintas.

3.2. Faktor Jam Puncak pada Persimpangan Jalan

Volume lalu lintas pada masing-masing kaki persimpangan dihitung berdasarkan puncak setiap periode lima belas menit.

$$PHF = \frac{V}{4 \cdot v_{15}} \dots \dots \dots (3.5)$$

Keterangan.

PHF = faktor jam puncak

V = volume setiap jam (smp/jam)

v_{15} = besar arus dalam periode puncak 15 menit (smp/jam)

3.3. Pengaturan Waktu Siklus

Salah satu penyebab buruknya tingkat pelayanan pada persimpangan adalah pengaturan waktu siklus yang kurang baik untuk waktu hijau, waktu merah dan waktu hilang pada masing-masing kaki persimpangan. Pengaturan waktu yang baik akan dapat melayani arus lalu lintas dengan efisiensi untuk setiap kaki persimpangan. Jika pengaturan waktu kurang baik akan menyebabkan tidak imbangnya prosentase kendaraan yang dapat lolos selama kurun waktu hijau pada

kaki persimpangan. Hal ini dapat dilihat dengan panjang antrian kendaraan pada waktu lampu sudah merah, sedang pada kaki persimpangan yang lain kurun waktu hijaunya sedikit kendaraan yang menggunakannya.

Jadi dengan pengaturan waktu siklus diharapkan hal-hal tersebut dapat diatasi dengan menempatkan kebutuhan waktu siklus menurut proporsi kendaraan yang menggunakan setiap kaki persimpangan.

$$C = \frac{L \cdot X_c}{X_c - \sum \left(\frac{v}{s}\right)_{ci}} \dots \dots \dots (3.6)$$

Keterangan.

C = waktu siklus (detik)

L = waktu hilang per putaran (detik)

X_c = perbandingan kritis besar arus dengan kapasitas

$\sum \left(\frac{v}{s}\right)_{ci}$ = jumlah total perbandingan kritis untuk kelompok lajur atau jalan i

v_i = besar arus aktual untuk kelompok lajur atau jalan i (smp/jam)

s_i = besar arus jenuh untuk kelompok jalur atau jalan i (smp/jam hijau)

Untuk menentukan panjang waktu optimal lampu pengatur lalu lintas setiap kaki persimpangan.

$$g_i = \left(\frac{v}{s}\right)_{ci} \cdot \frac{C}{X_c} \dots \dots \dots (3.7)$$

Keterangan.

g_i = waktu hijau efektif untuk kelompok lajur atau jalan i (detik)

$\left(\frac{v}{s}\right)_{ci}$ = perbandingan kritis untuk kelompok lajur atau jalan i

C = waktu siklus (detik)

X_c = perbandingan kritis besar arus dengan kapasitas untuk persimpangan jalan

3.4. Tingkat Pelayanan

Tingkat pelayanan pada persimpangan jalan dengan lampu lalu lintas/*traffic light* didefinisikan berhubungan dengan penundaan. Penundaan ini merupakan ukuran ketergantungan, tingkat frustrasi, penggunaan bahan bakar dan kehilangan waktu bagi pengemudi.

Secara khusus kriteria tingkat pelayanan dinyatakan dengan waktu henti rata-rata perkendaraan dalam periode analisis 15 menit.

Penundaan dapat diukur dilapangan. Penundaan merupakan suatu ukuran yang kompleks dan tergantung dari beberapa variabel yang meliputi kualitas pergerakan, panjang putaran, waktu hijau dan perbandingan besar arus dengan kapasitas ($\frac{v}{c}$) untuk kelompok lajur atau jalan yang ditinjau.

Menurut HCM 1994, hubungan tingkat pelayanan dengan penundaan perkendaraan dapat dilihat dalam tabel 3.1. berikut ini :

Tabel 3.1. Kriteria Tingkat Pelayanan untuk Persimpangan dengan Lampu Lalu Lintas

Tingkat Pelayanan	Penundaan perkendaraan (detik/kendaraan)
A	$\leq 5,0$
B	5,1 - 15,00
C	15,1 - 25,0
D	25,1 - 40,0
E	40,1 - 60,0
F	$\geq 60,0$

Sumber : HCM 1994

Tingkat pelayanan A menggambarkan pengoperasian dengan penundaan sangat rendah yaitu kurang dari 5,0 detik per kendaraan. Tingkat pelayanan ini terjadi ketika pergerakan kendaraan sangat baik dan kebanyakan kendaraan-kendaraan tiba selama fase hijau dan kebanyakan kendaraan-kendaraan tersebut tidak berhenti sama sekali. Pendeknya waktu putar juga berperan untuk mengurangi penundaan.

Tingkat pelayanan B menggambarkan pengoperasian dengan penundaan 5,1 sampai 15,0 detik per kendaraan. Tingkat ini biasanya terjadi dengan pergerakan kendaraan baik, pendeknya waktu putar, atau kedua-duanya. Banyaknya kendaraan-kendaraan yang berhenti dibanding kendaraan-kendaraan yang berhenti pada tingkat pelayanan A, hal ini disebabkan tingginya tingkat tundaan rata-rata.

Tingkat pelayanan C menggambarkan pengoperasian dengan penundaan 15,1 sampai 25,0 detik per kendaraan. Tingginya tundaan-tundaan ini dapat diakibatkan dari pergerakan kendaraan yang adil, panjangnya waktu putar, atau kedua-duanya. Kegagalan individu waktu putar per kendaraan terlihat pada tingkatan ini. jumlah kendaraan-kendaraan yang terhenti sudah cukup banyak

pada tingkat ini, meskipun demikian masih banyak kendaraan yang masih dapat melewati persimpangan tanpa henti.

Tingkat pelayanan D menggambarkan pengoperasian dengan penundaan 25,1 sampai 40,0 detik per kendaraan. Pada tingkat pelayanan D pengaruh kemacetan mulai terlihat jelas. Penundaan yang lebih lama mungkin disebabkan oleh kombinasi dari pergerakan kendaraan yang kurang baik, waktu putaran lama atau tingginya perbandingan arus dengan kapasitas. Pada tingkat pelayanan ini banyak kendaraan yang terhenti dan proporsi kendaraan yang tidak berhenti (bergerak) berkurang.

Tingkat pelayanan E menggambarkan pengoperasian dengan penundaan 40,1 sampai 60,0 detik per kendaraan. Pada tingkat pelayanan ini, dianggap sebagai batas penundaan yang masih dapat diterima. Besarnya nilai penundaan yang tinggi pada umumnya disebabkan oleh pergerakan kendaraan yang terganggu, waktu putaran yang lama dan tingginya perbandingan besar arus dan kapasitas.

Tingkat pelayanan F menggambarkan pengoperasian dengan penundaan lebih besar dari 60,0 detik per kendaraan. Tingkat pelayanan ini dianggap sebagai penundaan yang tidak dapat diterima oleh sebagian besar pengemudi. Kondisi ini terjadi disebabkan oleh tingkat kejenuhan yang tinggi, dimana arus datang melebihi kapasitas persimpangan. Hal ini terjadi pada perbandingan besar arus dengan kapasitas ($\frac{v}{c}$) lebih besar dari 1,00 dengan beberapa kemacetan putaran individual. Pergerakan yang kurang baik dan panjang putaran yang lama mungkin menjadi penyebab utama dan tingkat penundaan yang demikian.

Waktu penundaan pada tabel 3.1. didefinisikan sebagai waktu yang hilang (berlalu) dari saat kendaraan berhenti diakhiri antrian sampai meninggalkan garis stop termasuk waktu yang diperlukan oleh kendaraan tersebut untuk menempuh jarak dari posisi akhir antrian hingga posisi pertama dalam antrian.

3.5. Hubungan Kapasitas dengan Tingkat Pelayanan

Karena penundaan adalah besaran yang kompleks maka hubungannya dengan kapasitas juga menjadi kompleks. Tingkat pelayanan pada tabel 3.1 adalah merupakan dasar variasi penundaan yang dapat diterima oleh pengemudi. Nilai terendah pada tingkat pelayanan E memberi definisi pada kapasitas yaitu perbandingan besar arus dengan kapasitas $(\frac{v}{c}) = 1,00$. Adalah mungkin penundaan termasuk pada tingkat pelayanan F (tidak dapat diterima) ketika perbandingan besar arus dengan kapasitas $(\frac{v}{c})$ dibawah 1,00 mungkin sebesar 0,75-0,85. Hal ini terjadi karena beberapa sebab kombinasi dari :

1. Waktu siklus yang sama,
2. Kelompok lajur yang dibicarakan tidak menguntungkan karena mempunyai waktu merah yang lama dalam pengaturan waktu persignalan,
3. Tanda pergerakan untuk tanda tersebut tidak jelas atau lancar.

Sebaliknya jika terjadi pada jalan atau kelompok yang jenuh $(\frac{v}{c}) = 1,00$ mempunyai waktu penundaan yang rendah jika :

1. Waktu siklus yang relatif pendek,
2. Tanda pergerakan menguntungkan untuk tanda tersebut,

Dengan demikian pada tingkat pelayanan F tidak secara otomatis menggambarkan persimpangan jalan atau kelompok jalur terlalu padat serta pada tingkat pelayanan E secara otomatis menyatakan tidak digunakan kapasitas yang tersedia.

3.6. Tundaan

Tundaan henti rata-rata perkendaraan untuk tiap kaki persimpangan dapat dicari dengan menggunakan rumus :

$$d = d_1 DF + d_2 \dots\dots\dots(3.8)$$

$$d_1 = 0,38.C \cdot \frac{(1 - (\frac{g}{C})^2)}{(1 - (\frac{g}{C} \cdot X))} \dots\dots\dots(3.9)$$

$$d_2 = 173.X^2 \cdot \left\{ (X-1) + \sqrt{(X-1)^2 + m \frac{X}{c}} \right\} \dots\dots\dots(3.10)$$

Keterangan.

d = tundaan henti (det/kend)

d_1 = tundaan pertama (det/kend)

d_2 = tundaan kedua (det/kend)

DF = faktor tundaan

X = rasio $\frac{v}{c}$

C = waktu siklus (detik)

c = kapasitas (smp/jam)

g = waktu hijau efektif (detik)

m = tambahan tundaan sebagai hasil dari tipe kedatangan dan antrian

Tundaan rata-rata untuk seluruh simpang dihitung dengan :

$$d_A = \frac{\sum d_A v_A}{\sum v_A} \dots\dots\dots(3.11)$$

Keterangan.

d_A = rata-rata tundaan tiap kendaraan pada persimpangan (det/kend)

v_a = arus untuk pendekat A (smp/jam)

Tundaan rata-rata ini dapat digunakan sebagai indikator tingkat pelayanan dari masing-masing pendekat demikian juga dari suatu simpang secara keseluruhan. Hubungan tingkat pelayanan dengan tundaan tiap kendaraan dapat dilihat dalam tabel 3.1.