

BAB 2

LANDASAN TEORI

2.1 Klasifikasi Kendaraan

Salah satu ciri lalu lintas di Indonesia adalah bercampurnya berbagai jenis kendaraan dalam ruang jalan yang sama (*mixed traffic*). Oleh sebab itu, diperlukan sistem klasifikasi jalan yang tepat (Putranto, 2019). Dalam Kapasitas Simpang APILL 2014 berdasarkan MKJI 1997 kendaraan diklasifikasikan menjadi beberapa jenis sebagaimana tertera pada tabel berikut:

Tabel 2.1 Padanan klasifikasi jenis kendaraan

Jenis Kendaraan	Keterangan
Sepeda Motor (SM)	Kendaraan bermotor roda 2 dan 3 dengan panjang tidak lebih dari 2,5 m.
Kendaraan Ringan (KR)	Mobil penumpang (Sedan, <i>Jeep</i> , <i>Station wagon</i> , Opelet, Minibus, Mikrobus), <i>Pick up</i> , Truk kecil, dengan panjang tidak lebih dari atau sama dengan 5,5 m.
Kendaraan Sedang (KS)	Bus dan Truk 2 sumbu, dengan panjang tidak lebih dari atau sama dengan 12,0 m.
Kendaraan Berat (KB)	Truk 3 sumbu dan Truk kombinasi (Truk Gandengan dan Truk Tempelan), dengan panjang lebih dari 12,0 m ^{*)} .
Kendaraan Tidak Bermotor (KTB)	Sepeda, Becak, Dokar, Keretek, Andong.

Catatan: ^{*)} Dalam jalan perkotaan, KB dikategorikan KS

Sumber: Panduan Kapasitas Jalan Indonesia 2014

2.2 Satuan Kendaraan Ringan

Panduan Kapasitas Jalan Indonesia 2014 telah mengubah satuan mobil penumpang (smp) menjadi satuan kendaraan ringan (skr). Dengan prinsip yang sama, satuan arus lalu lintas (Q) merupakan arus dari berbagai tipe kendaraan yang disamakan menjadi kendaraan ringan, termasuk mobil penumpang dan kendaraan ringan lainnya, dengan menggunakan nilai ekr. Ekvivalen kendaraan ringan (ekr) merupakan faktor konversi dari berbagai jenis kendaraan yang dibandingkan dengan kendaraan ringan yang lain sehubungan dengan dampaknya pada kapasitas jalan. Nilai ekr untuk kendaraan ringan adalah 1.

2.3 Simpang APILL

Simpang dengan menggunakan Alat Pemberi Isyarat Lalu Lintas (APILL) yaitu simpang yang secara bergantian mengatur arus lalu lintas atau arus kendaraan ketika memasuki simpang dengan menggunakan sinyal lampu lalu lintas. Penggunaan APILL diterapkan ketika arus lalu lintas yang melewati simpang cukup tinggi dan penggunaan simpang tak bersinyal sudah tidak memadai lagi. Hak jalan bagi pergerakan lalu lintas termasuk pejalan kaki diatur oleh APILL (Risdiyanto, 2014).

Traffic control signal yang digunakan untuk mengatur arus lalu lintas terdiri dari tiga warna, yaitu hijau, kuning, dan merah. Sinyal hijau merupakan tanda bahwa kendaraan dapat melintas selama waktu tersebut, sinyal kuning menandakan agar pengemudi berhati-hati atau bersiap untuk berhenti, dan sinyal merah merupakan tanda agar kendaraan berhenti.

2.4 Kondisi Geometrik, Pengaturan Lalu Lintas, dan Lingkungan Simpang APILL

Kondisi geometrik, pengaturan arus lalu lintas, dan kondisi lingkungan simpang APILL merupakan parameter-parameter yang diperlukan dalam analisis kinerja simpang APILL (Kementerian Pekerjaan Umum, 2014).

Tabel 2.2 Kondisi geometrik, pengaturan lalu lintas, dan lingkungan simpang APILL

Parameter		Keterangan
Kondisi Geometrik		
L _P	Lebar pendekat	Lebar awal bagian pendekat yang diperkeras, digunakan oleh lalu lintas memasuki simpang.
L _M	Lebar masuk	Lebar pendekat diukur pada garis henti.
L _K	Lebar keluar	Lebar pendekat diukur pada bagian yang digunakan lalu lintas keluar simpang.
L _E	Lebar efektif	Lebar pendekat yang diperhitungkan dalam kapasitas.
G	Kelandaian	Kelandaian memanjang pendekat.
Kondisi Lingkungan		
KOM	Komersial	Lahan disekitar simpang yang didominasi oleh kegiatan komersial.

Parameter		Keterangan
KIM	Permukiman	Lahan disekitar Simpang yang didominasi oleh tempat permukiman.
AT	Akses terbatas	Akses terbatas bagi pejalan kaki atau kendaraan.
UK	Ukuran kota	Ukuran kota yang diukur dari jumlah penduduk dalam wilayah perkotaan tersebut.
HS	Hambatan samping	Interaksi antara arus lalu lintas dan kegiatan samping jalan yang menyebabkan menurunnya arus jenuh dalam pendekat yang bersangkutan.
Pengaturan Sinyal		
i	Fase	Bagian dari siklus-sinyal dengan lampu-hijau disediakan bagi kombinasi tertentu dari gerakan lalu lintas.
c	Waktu siklus	Waktu untuk urutan lengkap isyarat APILL.
H	Waktu hijau	Waktu isyarat lampu hijau sebagai izin berjalan bagi kendaraan-kendaraan pada lengan simpang yang ditinjau.
H _A	Waktu antar hijau	Periode waktu kuning ditambah waktu merah semua antara dua fase isyarat yang berurutan.
H _H	Waktu hijau hilang total	Jumlah semua periode antar hijau (H _A) dalam satu siklus lengkap.
K	Waktu isyarat kuning	Waktu dimana lampu kuning dinyalakan setelah hijau dalam sebuah pendekat.
M	Waktu isyarat merah	Waktu isyarat lampu merah sebagai larangan berjalan bagi kendaraan-kendaraan pada lengan simpang yang ditinjau.
M _{senua}	Waktu isyarat merah semua	Waktu isyarat merah menyala bersamaan pada setiap pendekat.

Sumber: Panduan Kapasitas Jalan Indonesia 2014

2.5 Arus Lalu Lintas Simpang APILL

Arus lalu lintas (Q) pada simpang dihitung per satuan jam untuk satu atau lebih periode. Perhitungan dapat dilakukan berdasarkan kondisi arus lalu lintas pada jam puncak.

Setiap jenis kendaraan yang bergerak belok kiri (R_{BK_i}), lurus (LRS), dan belok kanan (R_{BK_a}) perlu dikonversi dari jumlah kendaraan per jam menjadi satuan kendaraan ringan (skr) per jam. Berikut ini merupakan tabel ekivalen kendaraan ringan (ekr) yang terdapat dalam PKJI 2014:

Tabel 2.3 Ekivalen Kendaraan Ringan

Jenis Kendaraan	ekr untuk tipe pendekat	
	Terlindung (P)	Terlawan (O)
Kendaraan Ringan (KR)	1,00	1,00
Kendaraan Berat (KB)	1,30	1,30
Sepeda Motor (SM)	0,15	0,40

Sumber: Panduan Kapasitas Jalan Indonesia 2014

2.6 Kapasitas Simpang APILL

Menurut PKJI 2014 kapasitas lengan simpang APILL dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$C = S \times \frac{H}{c}$$

Keterangan:

C = Kapasitas lengan simpang (skr/jam)

H = Waktu hijau dalam satu siklus (detik)

c = Waktu siklus (detik)

Arus jenuh lengan simpang dirumuskan sebagai berikut:

$$S = S_0 \times F_{UK} \times F_{HS} \times F_G \times F_P \times F_{BKa} \times F_{BKl}$$

Keterangan:

S = Arus jenuh lengan simpang (skr/jam)

S₀ = Arus jenuh dasar lengan simpang (skr/jam)

F_{UK} = Faktor pengaruh ukuran kota

F_{HS} = Faktor pengaruh hambatan samping

F_G = Faktor pengaruh kelandaian memanjang pendekat

F_P = Faktor pengaruh jarak parkir

F_{BKa} = Faktor pengaruh arus lalu lintas yang membelok ke kanan

F_{BKl} = Faktor pengaruh arus lalu lintas yang membelok ke kiri

Setiap lengan simpang APILL memiliki nilai kapasitas yang terpisah. Hal ini dikarenakan prinsip mengurai konflik dengan alokasi waktu. Pada prinsipnya kapasitas lengan simpang sebanding dengan kapasitas simpang dan waktu hijau efektif per siklus, tetapi berbanding terbalik dengan waktu siklusnya.

Prinsip operasi pada simpang APILL adalah meniadakan konflik gerakan yang saling tegak lurus. Pengaturan fase secara terlawan/ *opposed* (O) adalah dimungkinkan konflik antara gerak lurus dan gerak belok kanan dari arah berlawanan. Adapun pengaturan fase secara terlindung/ *protected* (P) adalah ditiadakan konflik antara gerak lurus dan gerak belok kanan dari arah berlawanan (Putranto, 2019).

Langkah-langkah perhitungan kapasitas simpang APILL (PKJI 2014) disajikan dalam tabel dan gambar berikut:

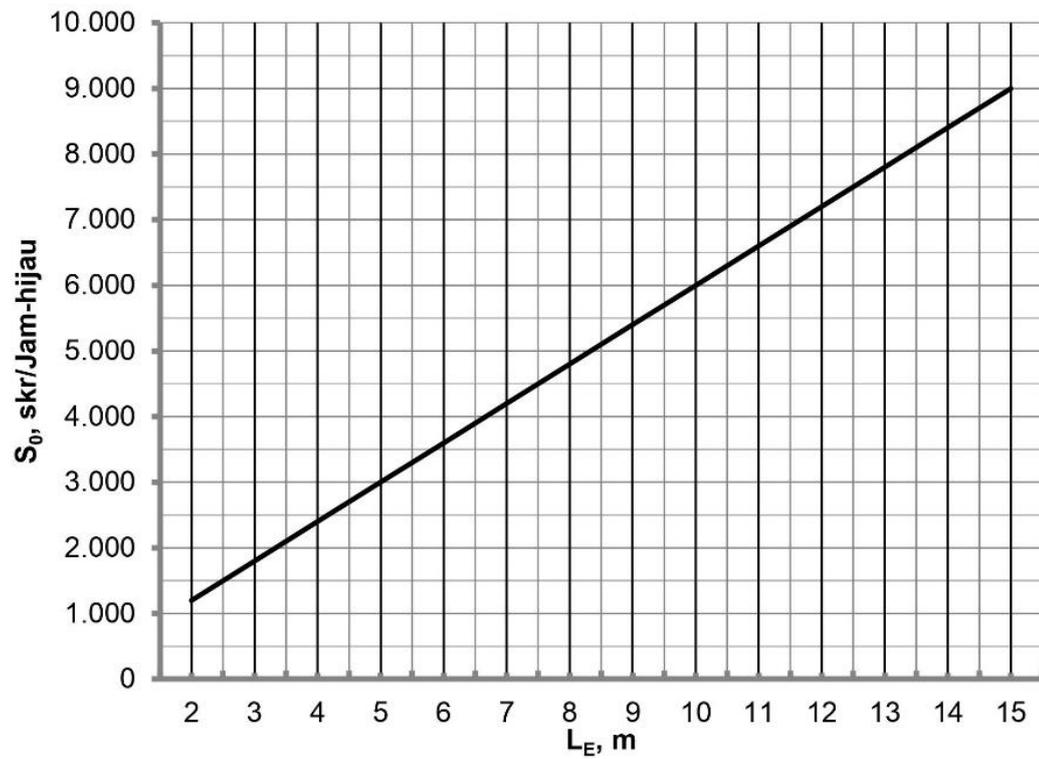
Tabel 2.4 Langkah-langkah perhitungan kapasitas simpang APILL

Variabel	Keterangan	Rumus
Rasio kendaraan berbelok		$R_{BK_i} = \frac{QBK_i}{Q_{Total}}$ $R_{BK_a} = \frac{QBK_a}{Q_{Total}}$
Lebar efektif (L_E)	Lebar efektif setiap lengan simpang (m).	
Arus jenuh dasar (S_0)	Arus jenuh dasar lengan simpang.	Pendekat Tipe P: $S_0 = 600 \times L_E$ Pendekat Tipe O: Gambar 2.2 Gambar 2.3
Faktor ukuran kota (F_{UK})	Jumlah penduduk kota.	Tabel 2.5
Faktor hambatan samping (F_{HS})	Jenis lingkungan jalan, tingkat hambatan samping, dan rasio kendaraan tak bermotor.	Tabel 2.6
Faktor gradien (F_G)	Kelandaian jalur pendekat.	Gambar 2.4
Faktor parkir (F_P)	Jarak dari garis henti ke kendaraan parkir pertama.	$F_P = \frac{L_P}{3} - \frac{(L-2) \times \left(\frac{L_P}{3} - H\right)}{L}$
Faktor belok kanan (F_{BK_a})	Pendekat tipe P.	$F_{BK_a} = (1 + R_{BK_a} \times 0,26)$

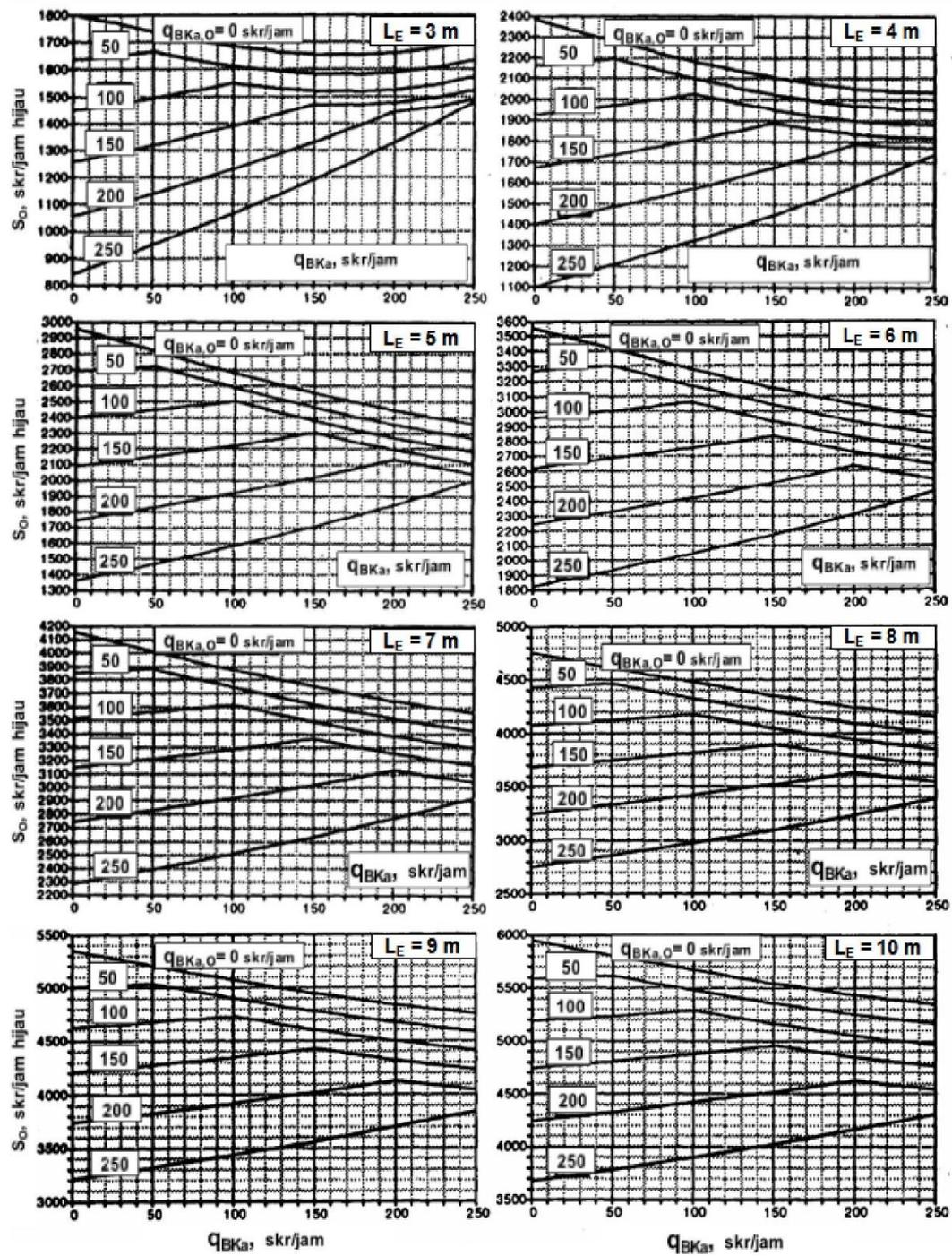
Variabel	Keterangan	Rumus
Faktor belok kiri (F_{Bki})	Pendekat tipe P.	$F_{Bki} = (1 - R_{Bki} \times 0,16)$
Arus jenuh disesuaikan/ arus jenuh (S)	Hasil perkalian arus jenuh dasar/ S_0 (skr/jam) dengan faktor penyesuaian/ F.	$S = S_0 \times F_{UK} \times F_{HS} \times F_G \times F_P \times F_{Bka} \times F_{Bki}$
Arus lalu lintas (Q)	Jumlah arus lalu lintas yang melalui pendekat per satuan waktu dengan memisahkan jumlah arus B_{KIJT} (skr/jam).	
Rasio arus ($R_{Q/S}$)	Rasio arus lalu lintas terhadap arus jenuh pendekat. Rasio arus tertinggi/ $R_{Q/S \text{ kritis}}$ dari masing-masing fase. Rasio arus simpang/ R_{AS} sebagai jumlah dari nilai-nilai $R_{Q/S \text{ kritis}}$.	$R_{Q/S} = \frac{Q}{S}$ $R_{AS} = \sum_i (R_{Q/S \text{ kritis}})_i$
Rasio fase (R_F)	Rasio antara rasio arus tertinggi dan rasio arus simpang.	$R_F = \frac{R_{Q/S \text{ kritis}}}{R_{AS}}$
Waktu siklus (c)	Waktu siklus pra penyesuaian/ c_{bp} dan waktu siklus disesuaikan/ c masing-masing fase (detik).	Gambar 2.8 Tabel 2.7 $c_{bp} = \frac{(1,5 \times H_H + 5)}{1 - \sum R_{Q/S \text{ kritis}}}$
Waktu hilang total (H_H)	Jumlah semua periode antar hijau (A_H) dalam satu siklus lengkap.	$H_H = \sum A_H = \sum (M_{\text{semua}} + K)$
Waktu hijau (H)	Waktu hijau masing-masing fase (detik).	$H_i = (c - H_H) \times \frac{R_{Q/S \text{ kritis}}}{\sum_i (R_{Q/S \text{ kritis}})_i}$
Kapasitas (C)	Kapasitas lengan simpang (skr/jam).	$C = S \times \frac{H}{c}$
Derajat kejenuhan (D_J)	Perbandingan antara arus lalu lintas dengan kapasitas lengan simpang.	$D_J = \frac{Q}{C}$

Sumber: Panduan Kapasitas Jalan Indonesia 2014

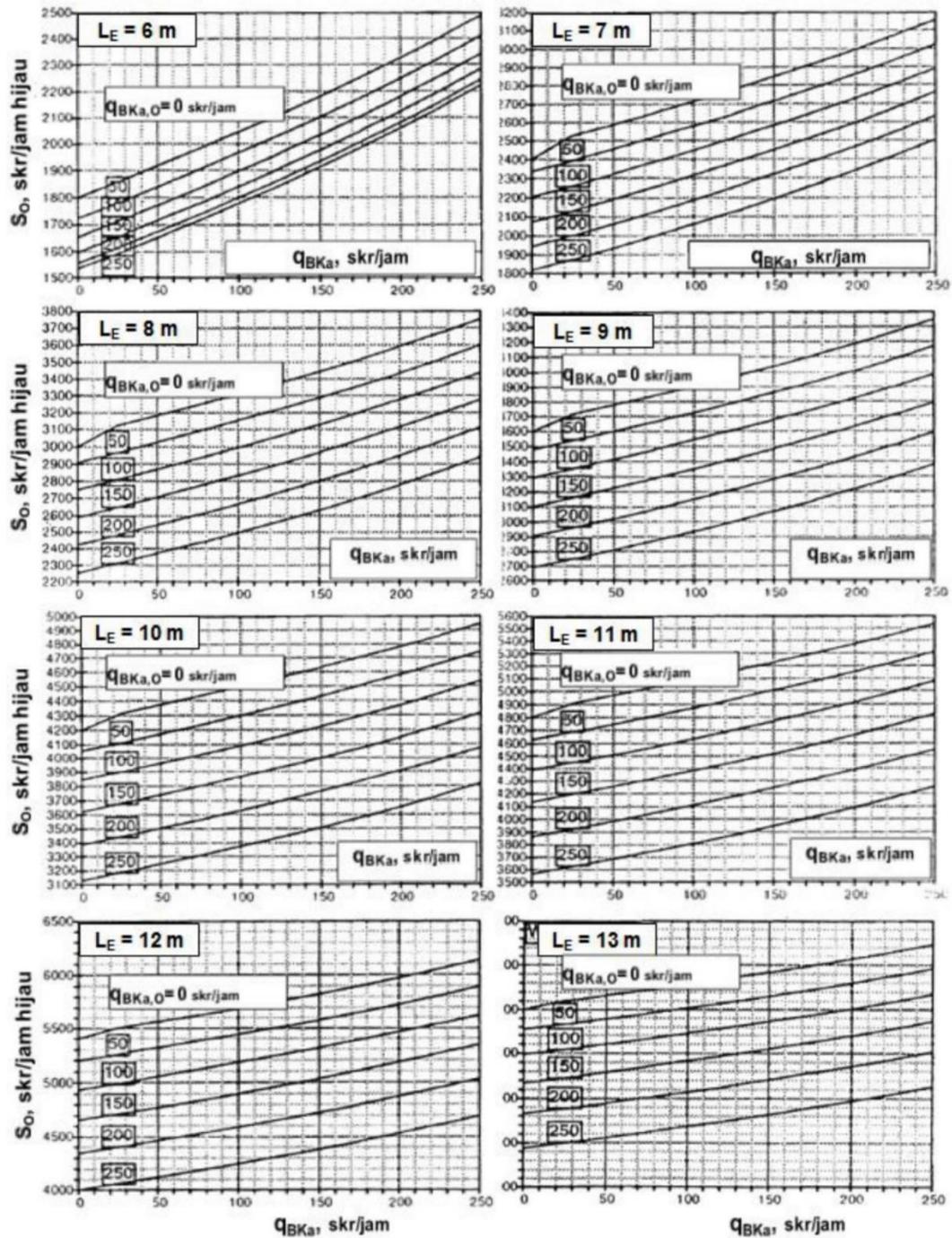
Penentuan arus jenuh dasar lengan simpang untuk pendekat tipe P dan tipe O dalam PKJI 2014 disajikan dalam gambar berikut:



Gambar 2.1 Arus jenuh dasar untuk pendekat terlindung (tipe P)



Gambar 2.2 Arus jenuh untuk pendekat tak terlindung (tipe O) tanpa lajur belok kanan terpisah



Gambar 2.3 Arus jenuh untuk pendekat tak terlindungi (tipe O) yang dilengkapi lajur belok kanan terpisah

Penentuan arus jenuh yang disesuaikan dipengaruhi oleh faktor-faktor penyesuaian, adapun faktor-faktor penyesuaian tersebut dalam PKJI 2014 disajikan dalam tabel dan gambar berikut:

Tabel 2.5 Faktor penyesuaian ukuran kota (F_{UK})

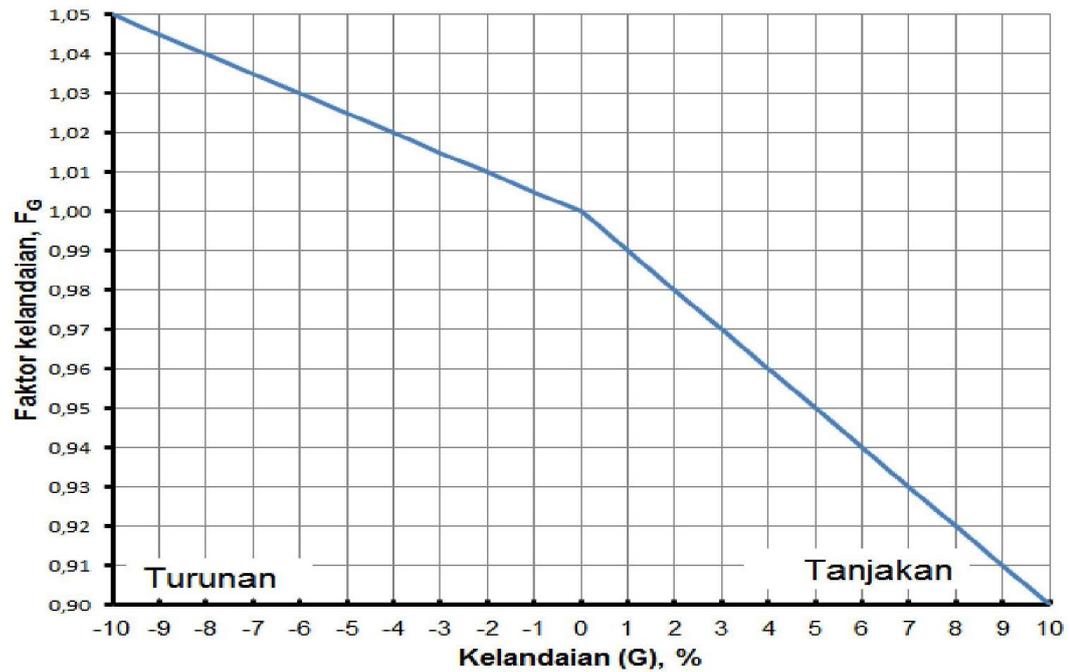
Jumlah penduduk kota (Juta jiwa)	Faktor penyesuaian ukuran kota (F_{UK})
> 3,0	1,05
1,0 – 3,0	1,00
0,5 – 1,0	0,94
0,1 – 0,5	0,83
< 0,1	0,82

Sumber: Panduan Kapasitas Jalan Indonesia 2014

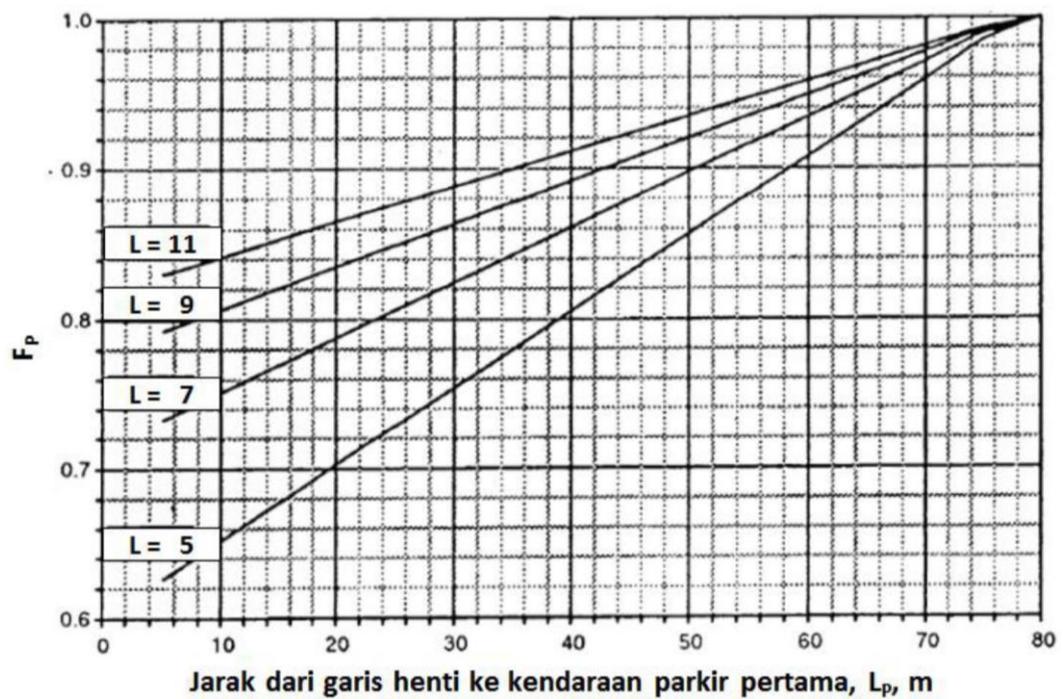
Tabel 2.6 Faktor penyesuaian untuk tipe lingkungan simpang, hambatan simpang, dan kendaraan tak bermotor (F_{HS})

Lingkungan jalan	Hambatan simpang	Tipe fase	Rasio kendaraan tak bermotor					
			0,00	0,05	0,10	0,15	0,20	\geq 0,25
Komersial (KOM)	Tinggi	Terlawan	0,93	0,88	0,84	0,79	0,74	0,70
		Terlindung	0,93	0,91	0,88	0,87	0,85	0,81
	Sedang	Terlawan	0,04	0,89	0,85	0,80	0,75	0,71
		Terlindung	0,94	0,92	0,89	0,88	0,86	0,82
	Rendah	Terlawan	0,95	0,90	0,86	0,81	0,76	0,72
		Terlindung	0,95	0,93	0,90	0,89	0,87	0,83
Permukiman (KIM)	Tinggi	Terlawan	0,96	0,91	0,86	0,81	0,78	0,72
		Terlindung	0,96	0,94	0,92	0,89	0,86	0,84
	Sedang	Terlawan	0,97	0,92	0,87	0,82	0,79	0,73
		Terlindung	0,97	0,95	0,93	0,90	0,87	0,85
	Rendah	Terlawan	0,98	0,93	0,88	0,83	0,80	0,74
		Terlindung	0,98	0,96	0,94	0,91	0,88	0,86
Akses terbatas	Tinggi/	Terlawan	1,00	0,95	0,90	0,85	0,80	0,75
	Sedang/ Rendah	Terlindung	1,00	0,98	0,95	0,93	0,90	0,88

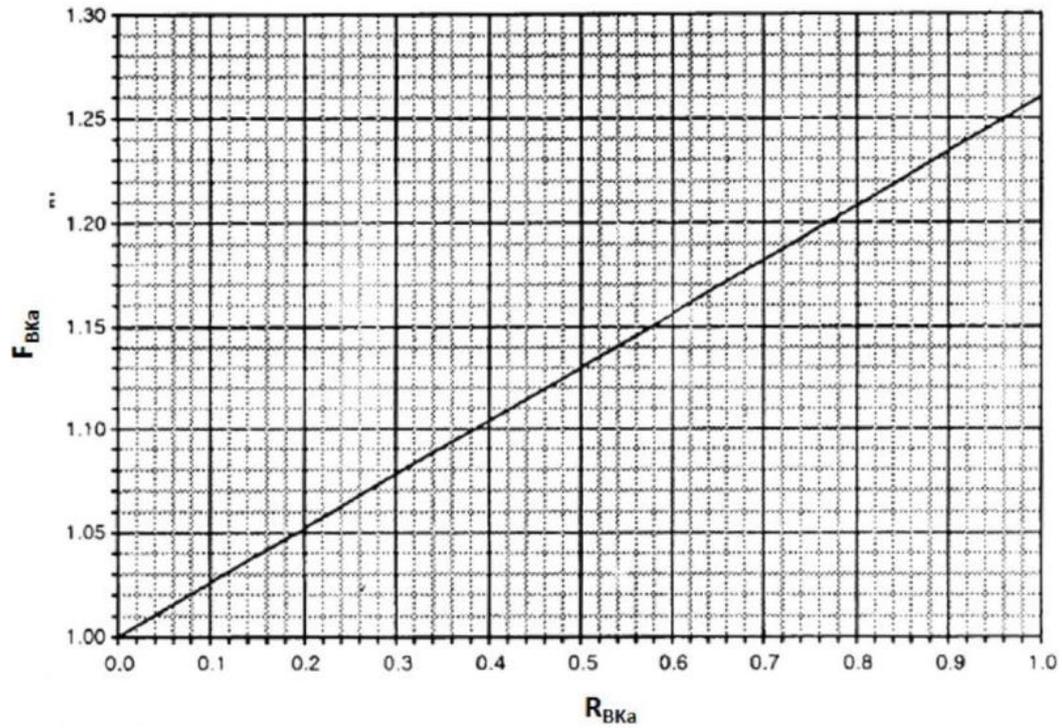
Sumber: Panduan Kapasitas Jalan Indonesia 2014



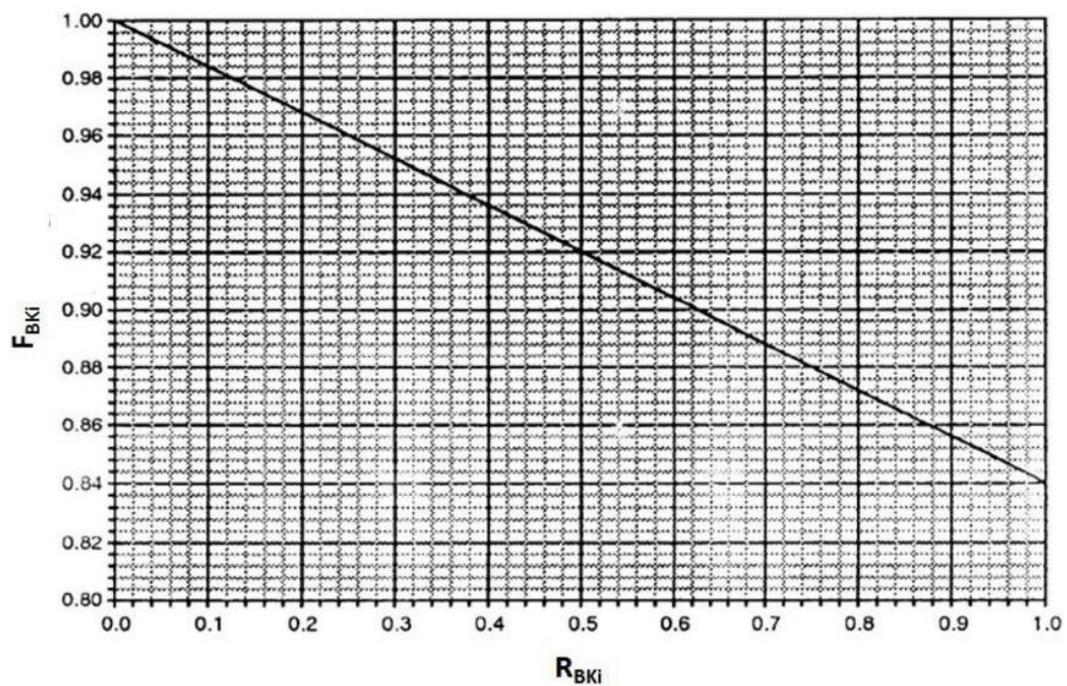
Gambar 2.4 Faktor penyesuaian untuk kelandaian (F_G)



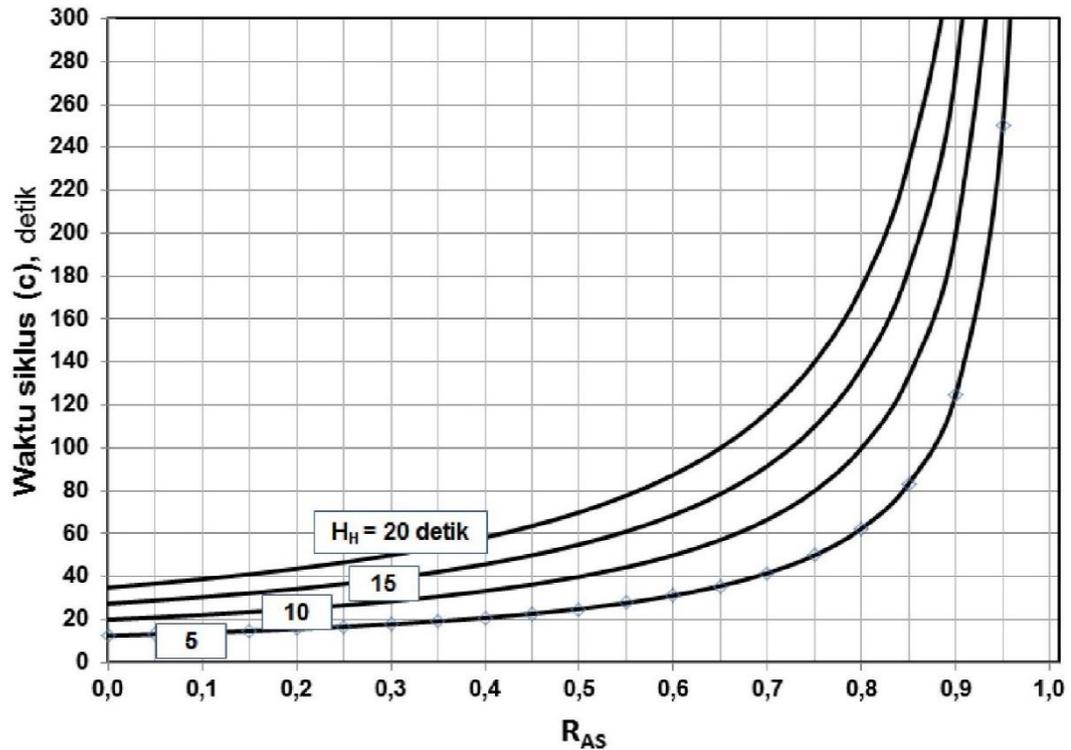
Gambar 2.5 Faktor penyesuaian untuk pengaruh parkir (F_P)



Gambar 2.6 Faktor penyesuaian untuk belok kanan (F_{BKa}), pada pendekatan tipe P dengan jalan dua arah, dan lebar efektif ditentukan oleh lebar masuk



Gambar 2.7 Faktor penyesuaian untuk pengaruh belok kiri (F_{BKi}) untuk pendekatan tipe P, tanpa B_{KiJT} , dan L_e ditentukan oleh L_M



Gambar 2.8 Penetapan waktu siklus sebelum penyesuaian, c_{bp}

Acuan dalam penentuan waktu siklus yang layak dalam PKJI 2014 adalah sebagai berikut:

Tabel 2.7 Waktu siklus yang layak

Tipe pengaturan	Waktu siklus yang layak (detik)
2 fase	40 – 80
3 fase	50 – 100
4 fase	80 – 130

Sumber: Panduan Kapasitas Jalan Indonesia 2014

2.7 Tundaan Sempang APILL

PKJI 2014 menyajikan perhitungan kinerja lalu lintas lengan simpang APILL yang diukur dengan besar waktu tundaan yang dirumuskan sebagai berikut:

$$T_i = T_{Li} + T_{Gi}$$

Keterangan:

T_i = Tundaan rata-rata lengan simpang (detik/skr)

T_L = Tundaan lalu lintas rata-rata (detik/skr)

T_G = Tundaan geometrik rata-rata (detik/skr)

Tundaan total atau tundaan rata-rata untuk seluruh simpang dirumuskan sebagai berikut:

$$T_I = \frac{\Sigma(Q \times T)}{Q_{Total}}$$

Langkah-langkah perhitungan waktu tundaan simpang APILL (PKJI 2014) disajikan dalam tabel dan gambar berikut:

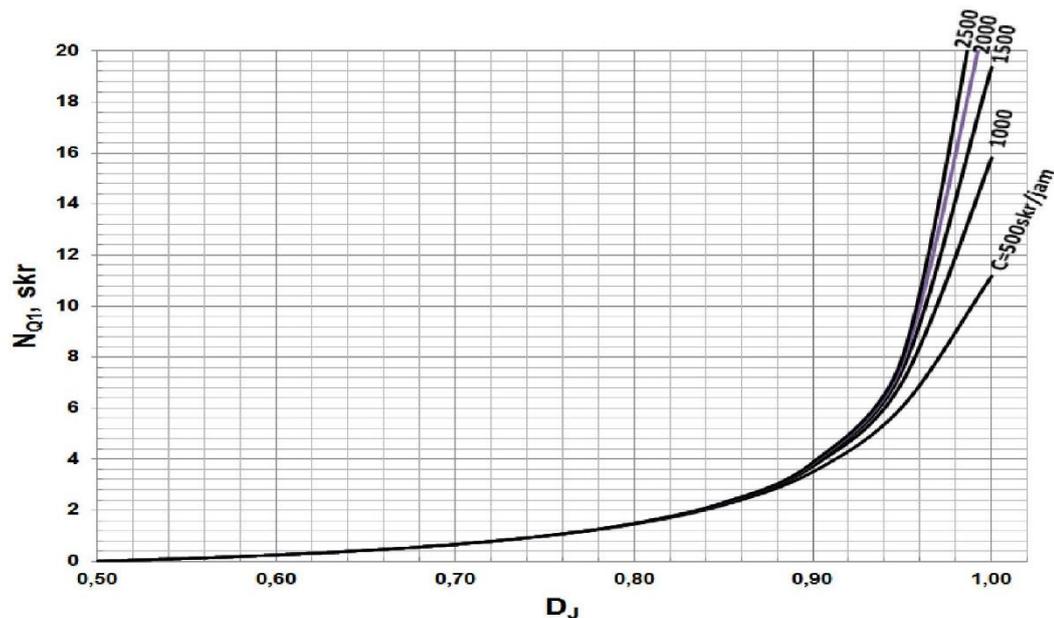
Tabel 2.8 Langkah-langkah perhitungan tundaan simpang APILL

Variabel	Keterangan	Rumus
Rasio hijau (R _H)	Perbandingan waktu hijau dengan waktu siklus.	$R_H = \frac{H}{c}$
N _{Q1}	Jumlah kendaraan terhenti yang tersisa dari fase hijau sebelumnya (skr).	Jika $D_J > 0,5$; $N_{Q1} = 0,25 \times c \times \left\{ (D_J - 1)^2 + \sqrt{(D_J - 1)^2 + \frac{8 \times (D_J - 0,5)}{c}} \right\}$ Jika $D_J \leq 0,5$; $N_{Q1} = 0$
N _{Q2}	Jumlah kendaraan yang datang dan terhenti dalam antrian selama fase merah (skr).	$N_{Q2} = c \times \frac{(1 - R_H)}{(1 - R_H \times D_J)} \times \frac{Q}{3600}$
Antrian total (N _Q)	Jumlah antrian total (skr).	$N_Q = N_{Q1} + N_{Q2}$
Antrian maksimum (N _{QMAX})	Nilai antrian maksimum (skr).	Gambar 2.11
Panjang antrian (PA)	Perkalian antara N _Q dengan rata-rata luas area yang ditempati tiap skr (20 m ²) dan dibagi lebar masuk (m).	$PA = N_Q \times \frac{20}{L_M}$
Rasio kendaraan terhenti (R _{KH})	Rasio kendaraan berhenti pada pendekat.	$R_{KH} = 0,9 \times \frac{N_Q}{Q \times c} \times 3600$
Kendaraan terhenti total (N _H)	Jumlah rata-rata berhenti per kendaraan termasuk berhenti berulang dalam antrian (skr).	$N_H = Q \times R_{KH}$

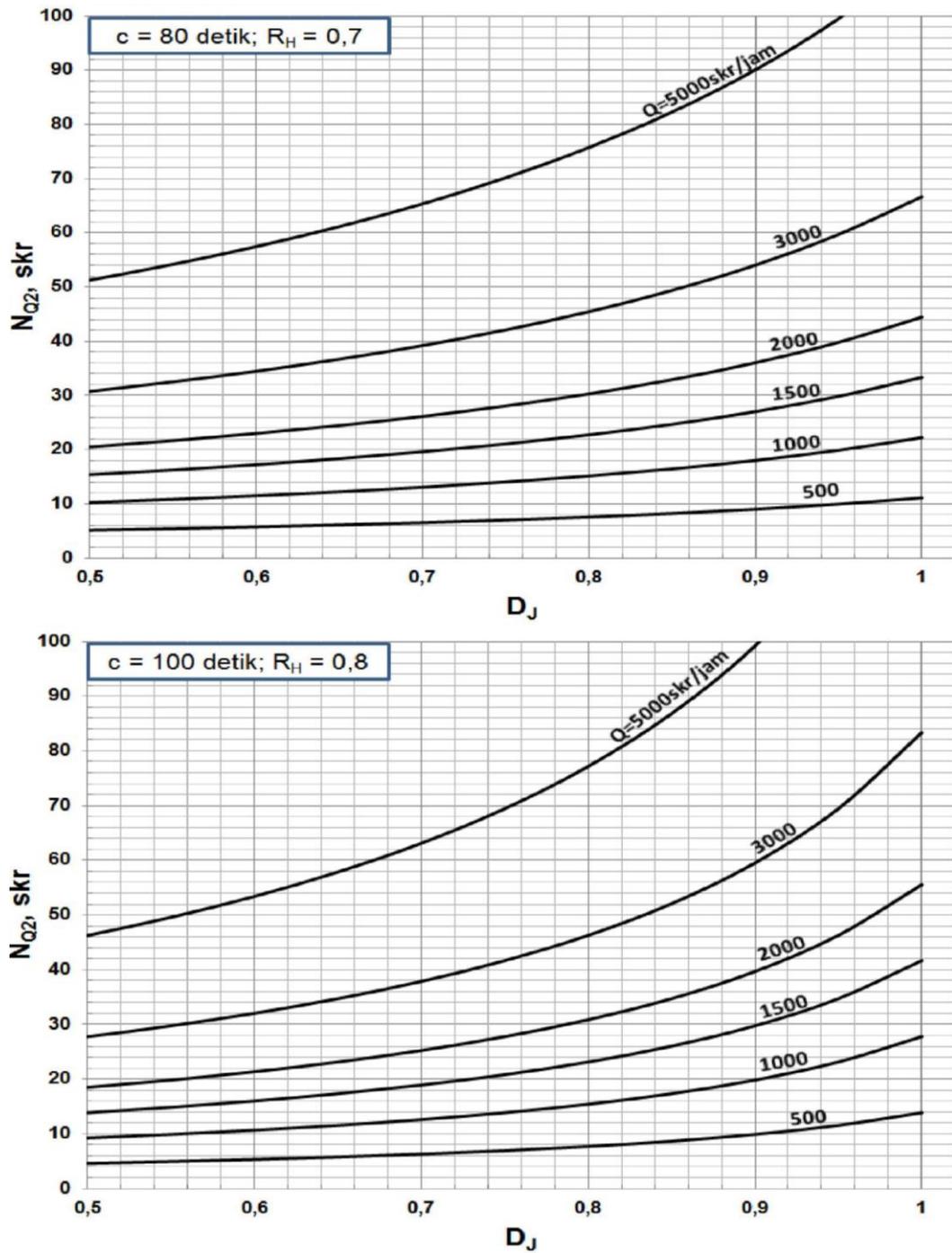
Variabel	Keterangan	Rumus
Tundaan lalu lintas (T_L)	Tundaan lalu lintas rata-rata (detik/skr).	$T_L = C \times \frac{0,5 \times (1 - R_H)^2}{(1 - R_H \times D_j)} + \frac{N_{Q1} \times 3600}{C}$
Tundaan geometrik (T_G)	Tundaan geometrik rata-rata (detik/skr).	$T_G = (1 - R_{KH}) \times P_B \times 6 + (R_{KH} \times 4)$
Tundaan rata-rata (T)	Jumlah tundaan lalu lintas rata-rata dan tundaan geometrik rata-rata (detik/skr).	$T = T_L + T_G$
Tundaan rata-rata seluruh simpang (T_I)	Jumlah nilai tundaan dibagi dengan arus total.	$T_I = \frac{\sum(Q \times T)}{Q_{Total}}$

Sumber: Panduan Kapasitas Jalan Indonesia 2014

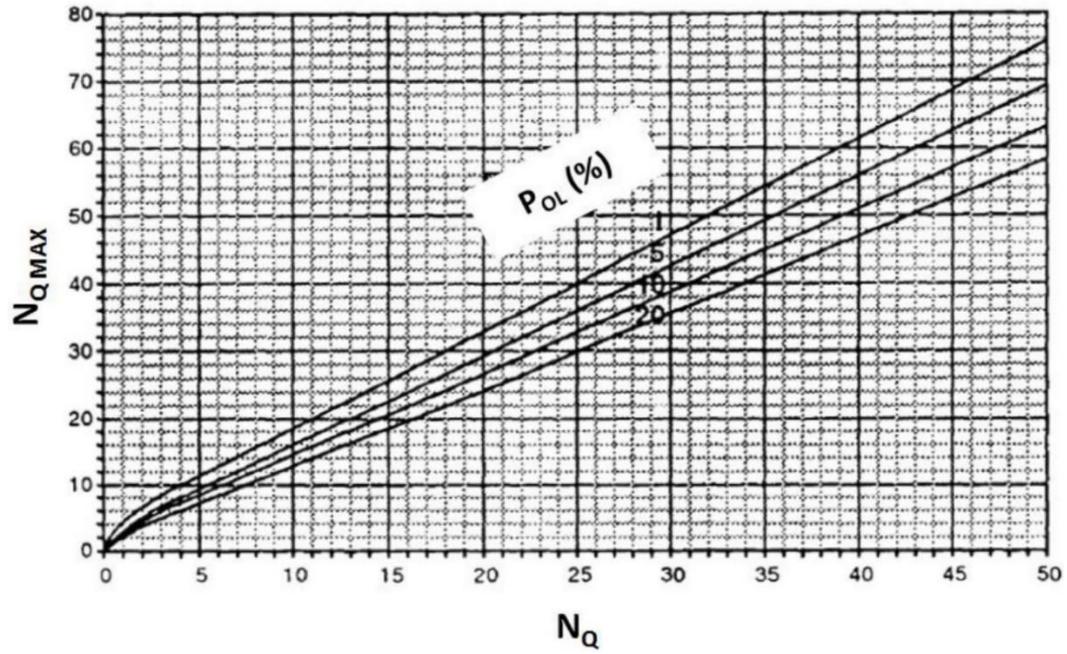
Penentuan nilai antrian kendaraan dan penentuan rasio kendaraan terhenti dalam PKJI 2014 disajikan dalam gambar-gambar berikut:



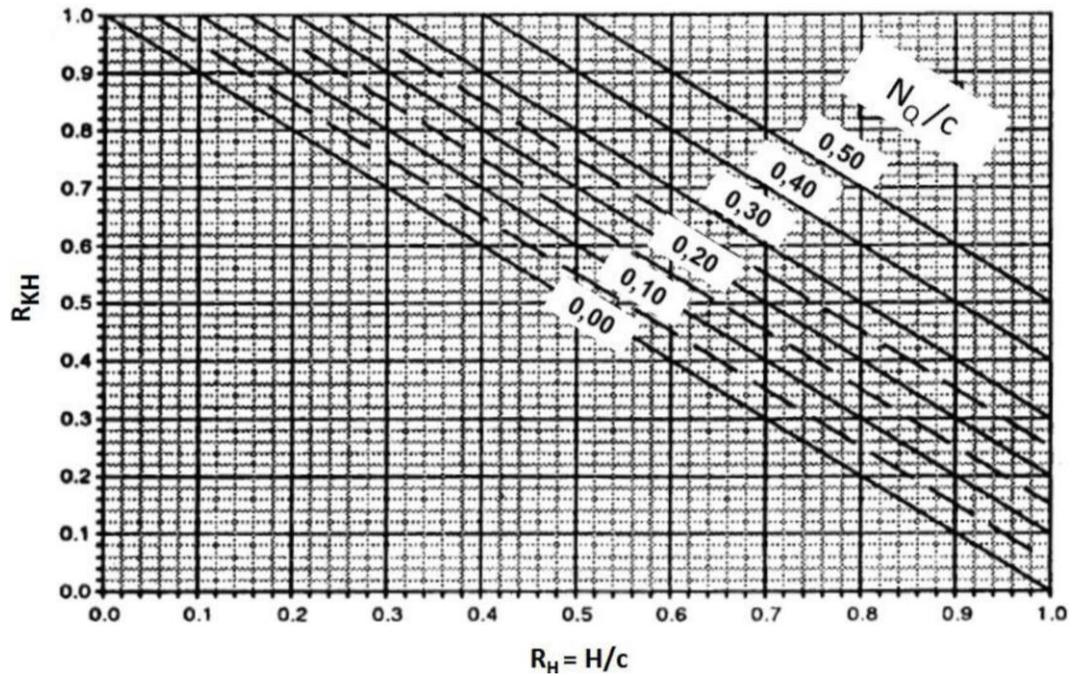
Gambar 2.9 Jumlah kendaraan tersisa (skr) dari sisa fase sebelumnya



Gambar 2.10 Jumlah kendaraan yang datang kemudian antri pada fase merah



Gambar 2.11 Jumlah antrian maksimum (N_{QMAX}), skr, sesuai dengan peluang untuk beban lebih (P_{OL}) dan N_Q



Gambar 2.12 Penentuan rasio kendaraan terhenti, R_{KH}

2.8 Tingkat Pelayanan

2.8.1 Tingkat Pelayanan Ruas Jalan

Tingkat pelayanan jalan (*Level of Service*) adalah ukuran kualitatif yang menggambarkan kinerja lalu lintas pada ruas jalan (Rachmadhaningrum, 2013). Tingkat kinerja dapat diukur dari perbandingan antara volume arus lalu lintas yang terjadi dengan daya tampung jalan tersebut dengan rumus berikut:

$$\text{LoS} = \frac{Q}{C}$$

Keterangan:

LoS = Tingkat pelayanan

Q = Arus lalu lintas (smp/jam)

C = Kapasitas jalan (smp/jam)

LoS \geq 1, tingkat kinerja itu mengalami kejenuhan yang artinya arus lalu lintas tersebut dalam keadaan macet dan tersendat-sendat (Susilo, 2017).

Standarisasi nilai LoS berdasarkan MKJI 1997 dan dalam Peraturan Menteri No. 96 2015 dapat dilihat pada tabel berikut:

Tabel 2.9 Tingkat pelayanan pada ruas

LoS	Interval	Keterangan
A	0,00 – 0,19	Arus bebas dengan volume lalu lintas rendah dan kecepatan tinggi. Pengemudi dapat memilih kecepatan yang diinginkan tanpa hambatan.
B	0,20 – 0,44	Arus stabil dengan volume lalu lintas sedang dan kecepatan tinggi. Pengemudi memiliki kebebasan yang cukup untuk memilih kecepatannya.
C	0,45 – 0,74	Arus stabil tetapi pergerakan kendaraan dikendalikan oleh volume lalu lintas. Pengemudi dibatasi dalam memilih kecepatannya.
D	0,75 – 0,84	Arus mendekati tidak stabil dengan volume lalu lintas tinggi. Pengemudi memiliki kebebasan yang sangat terbatas dalam menjalankan kendaraan, kenyamanan rendah, tetapi kondisi ini masih dapat ditolerir untuk waktu yang singkat.

LoS	Interval	Keterangan
E	0,85 – 1,0	Arus mendekati tidak stabil dengan volume lalu lintas mendekati kapasitas jalan dan kecepatan rendah. Pengemudi mulai merasakan kemacetan-kemacetan durasi pendek.
F	> 1	Arus tertahan dan terjadi antrian kendaraan yang panjang dan kecepatan sangat rendah.

Sumber: Peraturan Menteri Nomor 96 Tahun 2015

2.8.2 Tingkat Pelayanan Simpang

Tingkat pelayanan pada persimpangan dalam (Peraturan Menteri No. 96 Tahun 2015) diklasifikasikan sebagai berikut:

Tabel 2.10 Tingkat pelayanan pada persimpangan

Tingkat Pelayanan	Tundaan (det/skr)	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: Peraturan Menteri Nomor 96 Tahun 2015

2.9 Pertumbuhan Arus Lalu Lintas

Pertumbuhan arus lalu lintas merupakan gabungan dari ketiga macam jenis pertumbuhan berikut ini (Risdiyanto, 2014).

1. *Normal Traffic Growth*

Pertumbuhan arus lalu lintas akibat adanya pertumbuhan kepemilikan kendaraan yang terjadi di suatu wilayah yang dapat dilihat dari jumlah BPKB baru di wilayah tersebut.

2. *Generated Traffic*

Pertumbuhan arus lalu lintas akibat adanya pertumbuhan prasarana baru seperti pusat perbelanjaan yang dapat menambah daya tarik kunjungan suatu wilayah.

3. *Development Traffic*

Pertumbuhan arus lalu lintas akibat adanya perkembangan lingkungan seperti jalan baru atau perbaikan jalan lama.

2.9.1 Laju Pertumbuhan Arus Lalu Lintas

Perkiraan pertumbuhan lalu lintas dapat dihitung dengan metode regresi linier yang merupakan metode penyelidikan data dan statistik. Metode ini digunakan untuk mengukur besarnya pengaruh variabel bebas terhadap variabel tergantung dan memprediksi variabel tergantung dengan menggunakan variabel bebas (Iswahyudi, 2016). Persamaan metode regresi linier adalah sebagai berikut:

$$Y = a + bX$$

$$a = \frac{\sum y_i}{n} - b \frac{\sum x_i}{n}$$

$$b = \frac{n \sum x_i y_i - [\sum x_i][\sum y_i]}{n \sum x_i^2 - (\sum x_i)^2}$$

Keterangan:

- Y = variabel terikat
- X = variabel bebas
- a = intersep / konstanta
- b = koefisien regresi / slop

2.9.2 Laju Pertumbuhan Penduduk

Perkiraan laju pertumbuhan jumlah penduduk dihitung dengan metode geometrik menggunakan asumsi bahwa jumlah penduduk akan bertambah secara geometrik menggunakan dasar perhitungan majemuk dengan laju pertumbuhan penduduk dianggap sama untuk setiap tahun (Handiyatmo et al., 2010). Persamaan metode geometrik adalah sebagai berikut:

$$r = \left(\frac{P_t}{P_0} \right)^{\frac{1}{t}} - 1$$

Keterangan:

- P_t = jumlah penduduk tahun t
- P_0 = jumlah penduduk tahun dasar
- r = laju pertumbuhan penduduk
- t = periode waktu antara tahun dasar dan tahun t

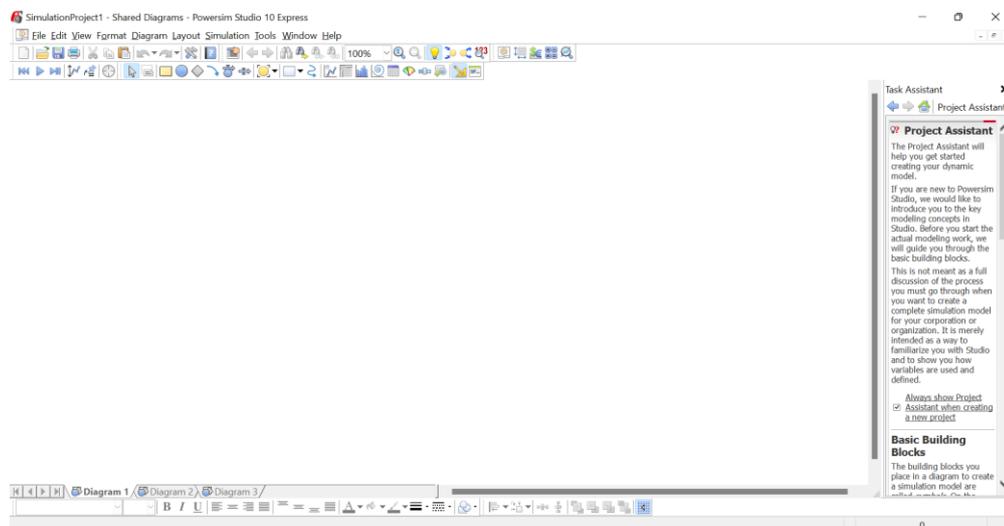
2.10 Sistem Dinamik dan Simulasi

Forrester, 1994 dalam Faradibah & Suryani, 2019, sistem dinamik merupakan kerangka yang memfokuskan pada sistem berpikir dengan menggunakan *feedback loop* dan mengambil beberapa langkah tambahan struktur serta mengujinya melalui model simulasi komputer.

Simulasi diartikan sebagai proses aplikasi dalam membangun model dari suatu sistem, menjalankan eksperimen dari model tersebut untuk memperoleh penjelasan dari perilaku sistem, mempelajari kinerja sistem, dan untuk membangun suatu sistem baru sesuai dengan kinerja yang dibutuhkan. Penggunaan simulasi dapat menjadi suatu alat yang memberikan manfaat berupa wawasan yang luas bagi pembuat keputusan dalam penyelesaian suatu masalah, baik dalam tahap perancangan sistem (sistem masih berupa usulan) maupun tahap operasional (sistem yang sedang berjalan).

2.11 Powersim Software

Perangkat lunak Powersim (Power Simulation) merupakan suatu alat bantu untuk membangun model simulasi bergerak. Dalam ruang lingkup sistem dinamik serta simulasi, perangkat lunak ini dapat menciptakan gambaran atau model dari sebuah sistem yang nyata maupun tidak. Model yang disusun digunakan sebagai asumsi dari suatu sistem. Model dapat terdiri dari komponen atau variabel yang saling berhubungan. Konstruksi model disusun dengan menentukan variabel dan hubungan antar variabel (Hasim, 2008)



Gambar 2.13 Tampilan awal Powersim Software

2.11.1 Causal Loop Diagram

Diagram sebab akibat digunakan untuk memahami sistem dengan membuat gambaran umum dari hubungan sebab dan akibat dalam sistem tersebut (konseptualisasi sistem). *Causal Loop Diagram* mampu menggambarkan bagaimana suatu sistem bekerja dan berperilaku (Wirabhuana, 2009).

Hubungan diagram sebab akibat terdapat dua macam, yaitu:

1. Hubungan Positif, dinyatakan dengan tanda positif. Hubungan pada kedua variabel adalah berbanding lurus, yaitu perubahan yang terjadi pada variabel sebab akan mengubah variabel akibat dengan arah yang sama.
2. Hubungan Negatif, dinyatakan dengan tanda negatif. Hubungan pada kedua variabel adalah berbanding terbalik, yaitu perubahan yang terjadi pada variabel sebab akan mengubah variabel akibat dengan arah yang berlawanan.

Loop dihasilkan dari hubungan antara variabel sebab dengan variabel akibat.

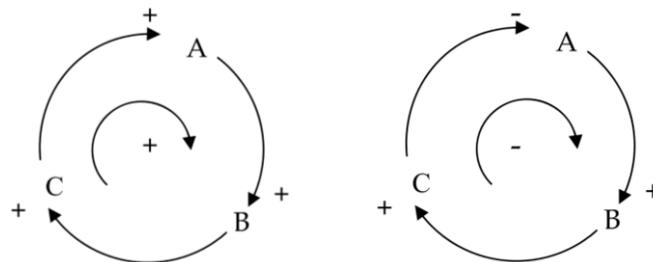
Loop dapat diklasifikasikan dalam dua jenis, yaitu:

1. *Loop* Positif

Loop ini terjadi apabila hasil perkalian hubungan antar variabel adalah positif, misalnya perubahan variabel A (meningkat) mengakibatkan perubahan pada variabel lain hingga perubahan tersebut mempengaruhi variabel awal (A) dengan arah yang sama pada perubahan awal (meningkat).

2. *Loop* Negatif

Loop ini terjadi apabila hasil perkalian hubungan antar variabel adalah negatif, misalnya perubahan variabel A (meningkat) mengakibatkan perubahan pada variabel lain hingga perubahan tersebut mempengaruhi variabel awal (A) dengan arah yang berlawanan (menurun).



Gambar 2.14 *Loop* Positif dan *Loop* Negatif

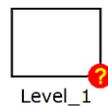
2.11.2 Flow Diagram Modeling

Flow Diagram merupakan bentuk rinci dari penggambaran sebuah sistem. Jenis variabel serta hubungan antar variabel ditunjukkan dalam *flow diagram*. Tujuan utama dari *flow diagram* adalah untuk menggambarkan aliran dan struktur sistem secara merinci agar dapat memfasilitasi pemodelan matematis (Laboratorium Pemodelan dan Simulasi Industri, 2018).

Variabel dalam *flow diagram* dapat diklasifikasikan sebagai berikut:

1. Level (Stocks)

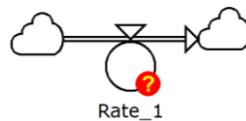
Tipe variabel yang mana merupakan perubahan akumulasinya. *Level* akan dipengaruhi oleh *rate (flow)*.



Gambar 2.15 Simbol *Level*

2. Rate (Flow)

Tipe variabel yang akan mempengaruhi variabel *level*.



Gambar 2.16 Simbol *Rate*

3. Auxillary

Tipe variabel yang mana memuat perhitungan dasar pada variabel lain.



Gambar 2.17 Simbol *Auxillary*

4. Constant

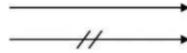
Tipe variabel yang mana memuat nilai tetap yang akan digunakan dalam perhitungan variabel *auxillary* atau variabel *flow*.



Gambar 2.18 Simbol *Constant*

5. *Link*

Sebuah alat yang menghubungkan antara satu variabel dengan variabel lainnya.



Gambar 2.19 Simbol *Link* dan *Delayed Link*

2.11.3 Validasi Model

Tingkat kesesuaian antara hasil simulasi model dengan gejala atau proses yang ditirukan diketahui melalui validasi. Apabila kesalahan atau simpangan hasil simulasi bernilai kecil, model dapat dinyatakan baik. Model selanjutnya digunakan untuk memahami perilaku gejala atau proses serta kecenderungannya di masa yang akan datang (Laboratorium Pemodelan dan Simulasi Industri, 2018).

Validasi model dilakukan dengan membandingkan antara tingkah laku model dan sistem nyata, salah satunya dapat melalui cara uji *MAPE* (*Mean Absolute Percentage Error*). *MAPE* atau nilai tengah kesalahan persentase absolut adalah salah satu ukuran relatif yang menyangkut kesalahan persentase. Uji ini dapat digunakan untuk menilai kesesuaian data hasil simulasi dengan data aktual.

$$\text{MAPE} = \frac{1}{n} \sum \frac{|X_s - X_a|}{X_a} \times 100\%$$

Keterangan:

X_s = Data hasil simulasi

X_a = Data aktual

n = Periode atau banyak data

Kriteria nilai *MAPE* dalam (Lewis, 1982) yang dapat dijadikan bahan pengukuran kemampuan dari suatu model dapat dilihat pada tabel berikut:

Tabel 2.11 Kriteria nilai *MAPE*

MAPE	Keterangan
< 10%	Kemampuan model peramalan sangat baik.
10% - 20%	Kemampuan model peramalan baik.
20% - 50%	Kemampuan model peramalan cukup.
> 50%	Kemampuan model peramalan buruk.

Sumber: Lewis, 1982 dalam Maricar, 2019