

BAB 3 METODOLOGI PENDEKATAN

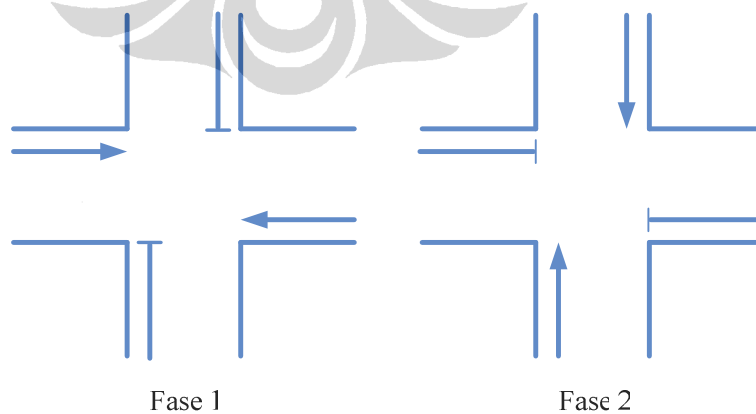
3.1. Konsep Analisis

3.1.1. Fungsi Kedatangan dan Pelayanan Kontrol Lalu Lintas Bersinyal Pada Kondisi Arus Lalu Lintas Lewat Jenuh

Asumsi yang digunakan dalam menentukan fungsi kedatangan pada saat periode lewat jenuh adalah arus kedatangan merupakan fungsi polinomial pangkat 2 dengan titik awal pada koordinat (0,0). Titik 0 diasumsikan sebagai titik awal terjadinya arus jenuh. Pada titik awal ini tingkat kedatangan kendaraan sama dengan tingkat pelepasan kendaraan. Setelah itu, kedatangan kendaraan selalu lebih besar dari pada pelepasan kendaraan, sehingga menimbulkan antrian dan tundaan. Dengan memberikan tingkat pelepasan tertentu, arus lewat jenuh akan berakhir pada waktu T , sehingga T dapat dikatakan sebagai periode lewat jenuh.

Persimpangan yang ditinjau dalam kontrol lalu lintas bersinyal pada kondisi arus lewat jenuh pada penelitian ini adalah persimpangan sederhana dengan dua pergerakan utama atau disebut kontrol lalu lintas bersinyal dengan dua fase. (Gambar 3.1). Pendekatan persamaan kedatangan kendaraan kedatangan pada pergerakan 1 dan pergerakan 2 merupakan fungsi polinomial pangkat 2 dengan persamaan umum sebagai berikut:

$$Q_i = -a_i \cdot x^2 + b_i \cdot x \quad i=1,2 \quad (3.1)$$



Gambar 3.1. Persimpangan Dengan 2 Pergerakan dan Kontrol Sinyal 2 Fase

Persamaan pelayanan kontrol lalu lintas bersinyal melalui pemberian waktu hijau secara agregasi diasumsikan sebagai garis lurus dengan gradien sebesar tingkat pelepasan kendaraan (γ). Persamaan pelayanan kontrol lalu lintas bersinyal menggambarkan pelayanan mulai dari awal periode arus jenuh sampai akhir periode arus jenuh yang ditandai dengan tidak adanya antrian tersisa. Persamaan pelayanan kendaraan kedatangan pergerakan 1 dan pergerakan 2 adalah sebagai berikut:

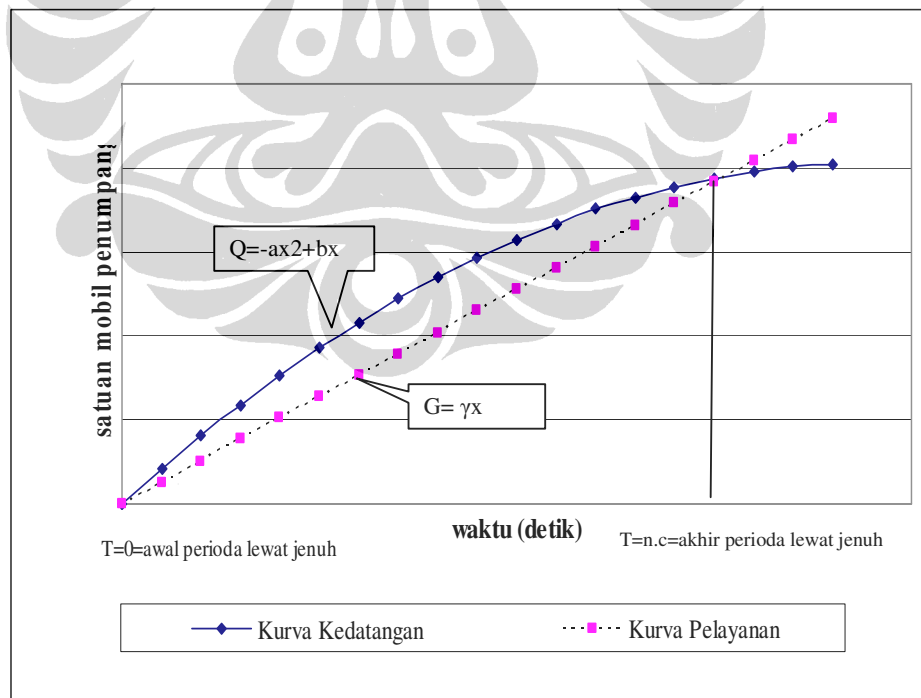
$$G_i = \gamma_i \cdot x \quad i=1,2 \quad (3.2)$$

Awal periode lewat jenuh terjadi pada saat $T=0$ dan akhir periode lewat jenuh terjadi pada saat $T=n \cdot c$.

dimana

- n = Jumlah waktu siklus
 c = Waktu siklus (detik)

Kurva persamaan kedatangan kendaraan dan pelayanan kontrol lalu lintas bersinyal pada periode lewat jenuh disajikan pada Gambar 3.2.



Gambar 3.2. Kurva Persamaan Kedatangan Kendaraan Dan Pelayanan Kontrol Lalu Lintas Bersinyal Pada Periode Lewat Jenuh

Q pada Gambar 3.2 merupakan total kedatangan kendaraan pada kedua pergerakan yang masing-masing mempunyai persamaan sebagai berikut:

$$Q = Q_1 + Q_2 = -(a_1 + a_2).x^2 + (b_1 + b_2).x \quad (3.3)$$

Demikian juga G pada grafik di atas merupakan total pelayanan pada kedua pergerakan yang masing-masing mempunyai persamaan sebagai berikut:

$$G = G_1 + G_2 = (\gamma_1 + \gamma_2).x \quad (3.4)$$

Pada kondisi $T=n.c$ maka persamaan kurva kedatangan dan keberangkatan menjadi: $Q = G - (a_1 + a_2).x^2 + (b_1 + b_2).x = (\gamma_1 + \gamma_2).x$
 $x=n.c$, maka

$$-(a_1 + a_2).(n.c)^2 + (b_1 + b_2).(n.c) = (\gamma_1 + \gamma_2).(n.c) \quad (3.5)$$

$$\gamma_1 = \frac{g_1 s_1}{c} \quad \text{dan} \quad \gamma_2 = \frac{g_2 s_2}{c} \quad (3.6)$$

$$g_1 + g_2 = c \quad (3.7)$$

Dengan memasukkan persamaan 3.6 dan persamaan 3.7 ke dalam persamaan 3.5, maka persamaan menjadi:

$$\begin{aligned} \gamma_1 &= \frac{(c - g_2).s_1}{c} \\ -(a_1 + a_2).(n.c)^2 + (b_1 + b_2).(n.c) &= \frac{(c - g_2).s_1 + g_2 s_2}{c}.(n.c) \\ -(a_1 + a_2).n.c + (b_1 + b_2) &= \frac{(c - g_2).s_1 + g_2 s_2}{c} \end{aligned} \quad (3.8)$$

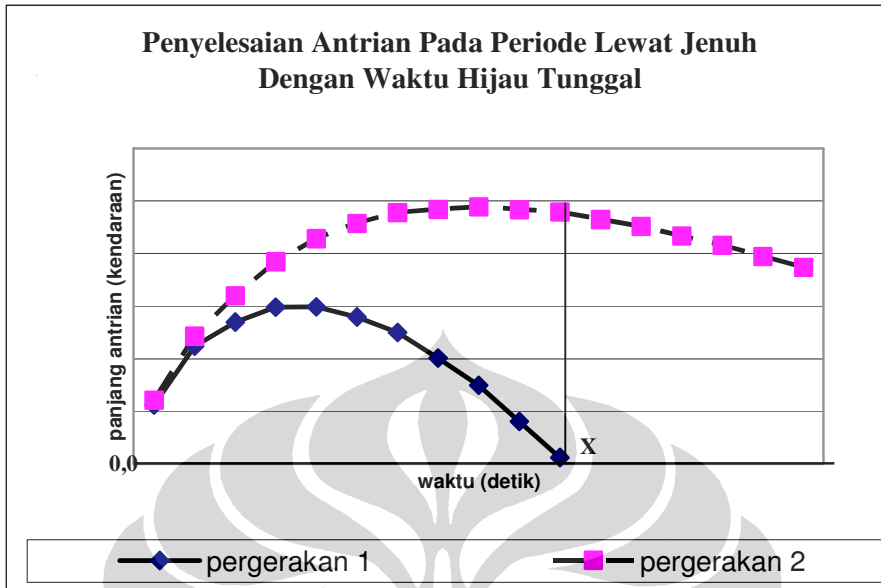
Nilai c merupakan besaran yang dijadikan masukan, sedangkan nilai $a_1, a_2, b_1, b_2, s_1, s_2$ diketahui berdasarkan data lapangan. Dengan ketentuan persamaan harus memenuhi $g_1 + g_2 = c$, maka nilai n dan g_2 dapat dihitung. Dengan nilai n yang sudah diketahui, maka nilai T dan γ juga dapat dihitung. Berdasarkan pendekatan bahwa kedua pendekat menyelesaikan antrian pada siklus yang sama, maka nilai n digunakan juga untuk menghitung γ_1, γ_2 dan g_1 .

3.1.2 Pengembangan Metode Optimasi

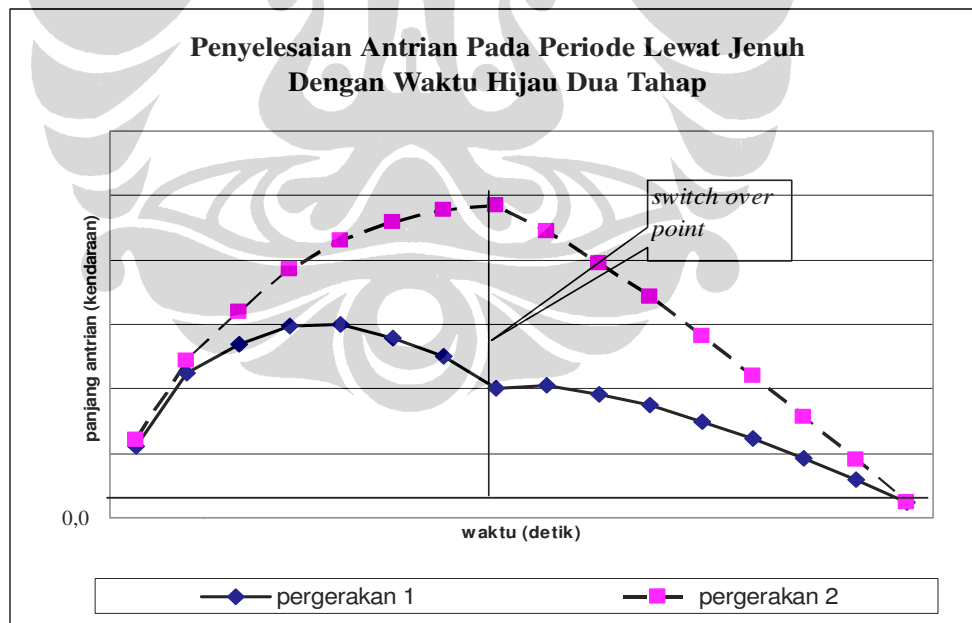
Arus lalu lintas lewat jenuh akan menyisakan antrian pada siklus pertama pengaturan kontrol lalu lintas bersinyal, sehingga harus dianalisis strategi pemberian waktu hijau agar antrian kendaraan tersisa dihabiskan pada siklus yang sama.

Metode optimasi yang dikembangkan mengadopsi metode optimasi pada persimpangan dengan arus lewat jenuh dengan metode bertahap (Gazis, 1964 dan Chang & Lin, 2001). Kedua metode tersebut menggunakan strategi optimum dengan penyelesaian kedua antrian pada waktu T melalui metode pemberian waktu hijau dua tahap. Selama tahap pertama arah 1 dilayani dengan waktu hijau maksimum dan arah 2 dengan waktu hijau minimum. Selama tahap dua pelayanan dibalik, waktu hijau minimum untuk arah 1 dan hijau maksimum untuk arah 2.

Gambar 3.3a dan 3.3b menunjukkan grafik panjang antrian sepanjang periode lewat jenuh yang terjadi pada persimpangan dengan kontrol lalu lintas bersinyal dua fase. Fase pertama melayani pergerakan 1 dan fase kedua melayani pergerakan 2. Seperti terlihat pada Gambar 3.3a, perencanaan kontrol lalu lintas bersinyal pada kondisi lewat jenuh menggunakan metode waktu hijau tunggal seringkali menyulitkan tujuan untuk dapat menyelesaikan antrian pada kedua pendekatan secara bersamaan. Pada Gambar tersebut terlihat bahwa $T=X$ antrian kendaraan pada pergerakan 1 telah habis, namun pada pergerakan 2 antrian kendaraan masih sangat tinggi. Untuk mengatasi permasalahan tersebut, dikembangkan metode pemberian waktu hijau dua tahap dengan pergantian waktu hijau pada waktu atau titik tertentu. Titik pergantian ini sering disebut dengan titik pergantian atau *switch over point*. Gambar 3.3b menunjukkan pelayanan kontrol lalu lintas bersinyal dengan waktu hijau dua tahap yang dapat menyelesaikan antrian akibat arus lalu lintas lewat jenuh pada waktu atau siklus yang sama.



Gambar 3.3a. Pelayanan Kontrol Lalu Lintas Bersinyal dengan Waktu Hijau Tunggal yang Tidak Menyelesaikan Antrian pada Kedua Pendekat Secara Bersamaan



Gambar 3.3b. Pelayanan Kontrol Lalu Lintas Bersinyal dengan Waktu Hijau Dua Tahap yang Menyelesaikan Antrian pada Kedua Pendekat Secara Bersamaan

Perencanaan kontrol lalu lintas bersinyal pada periode lewat jenuh bertujuan menyelesaikan menyelesaikan antrian kendaraan dalam waktu T , dimana T merupakan sejumlah n waktu siklus.

Pada penelitian ini, parameter kinerja yang dihitung pada setiap waktu siklus adalah :

1. Kendaraan yang dialirkan saat waktu hijau ke- i iterasi ke- j ($VD_{i,j}$)

$$VD_{i,j} = \frac{s_m}{3600} \times G_i(m) \quad m = 1,2 \quad (3.9)$$

dimana

$VD_{i,j}$ = Kendaraan yang dialirkan saat waktu hijau ke- i iterasi ke- j , smp

$s_m \quad m = 1,2$ = Arus jenuh pendekat, smp/jam

$G_i(m)$ = Waktu hijau pendekat m pada komposisi siklus i ,
 $i = 1,2$

2. Panjang antrian saat waktu hijau komposisi siklus ke- i iterasi ke- j ($Q_{i,j}$)

$$Q_{i,j} = CA_{i,j} - CA_{i,j-1} + Q_{i,j-1} - VD_{i,j} \quad (3.10)$$

dimana

$Q_{i,j}$ = Panjang antrian saat waktu hijau komposisi siklus ke- i iterasi ke- j , smp

$CA_{i,j}$ = Akumulasi kendaraan yang datang pada percobaan waktu hijau ke- i dan iterasi ke- j , smp

$CD_{i,j}$ = Akumulasi kendaraan yang dilepas pada percobaan waktu hijau ke- i dan iterasi ke- j , smp

3. Rasio akumulasi kendaraan yang dilepas terhadap akumulasi kendaraan yang datang pada pendekat m pada percobaan waktu hijau ke- i dan iterasi ke- j ($R_{i,j}(m)$)

$$R_{i,j}(m) = \frac{CD_{i,j}}{CA_{i,j}} \quad (3.11)$$

Untuk dapat menyelesaikan antrian yang tersisa akibat arus lewat jenuh pada siklus yang sama, diperlukan perubahan waktu hijau pada siklus tertentu. Pada penelitian ini dianalisis dan dipilih titik perubahan yang paling efektif akan menghasilkan waktu hijau optimum apabila salah satu pendekat telah memiliki rasio

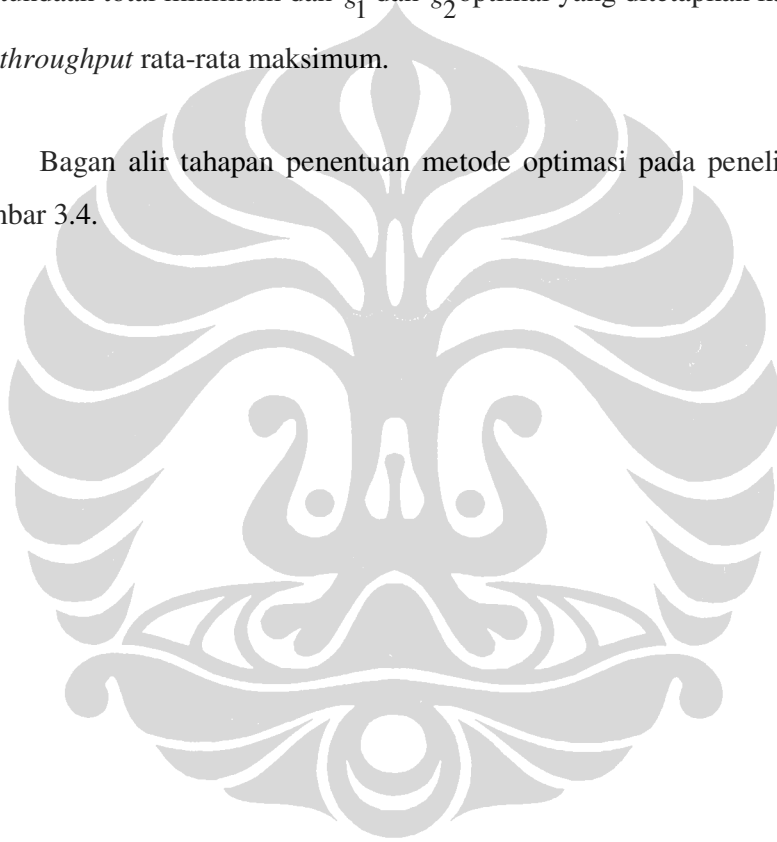
akumulasi kendaraan yang dilepas dan akumulasi kendaraan yang datang ($R_{ij}(m)$).

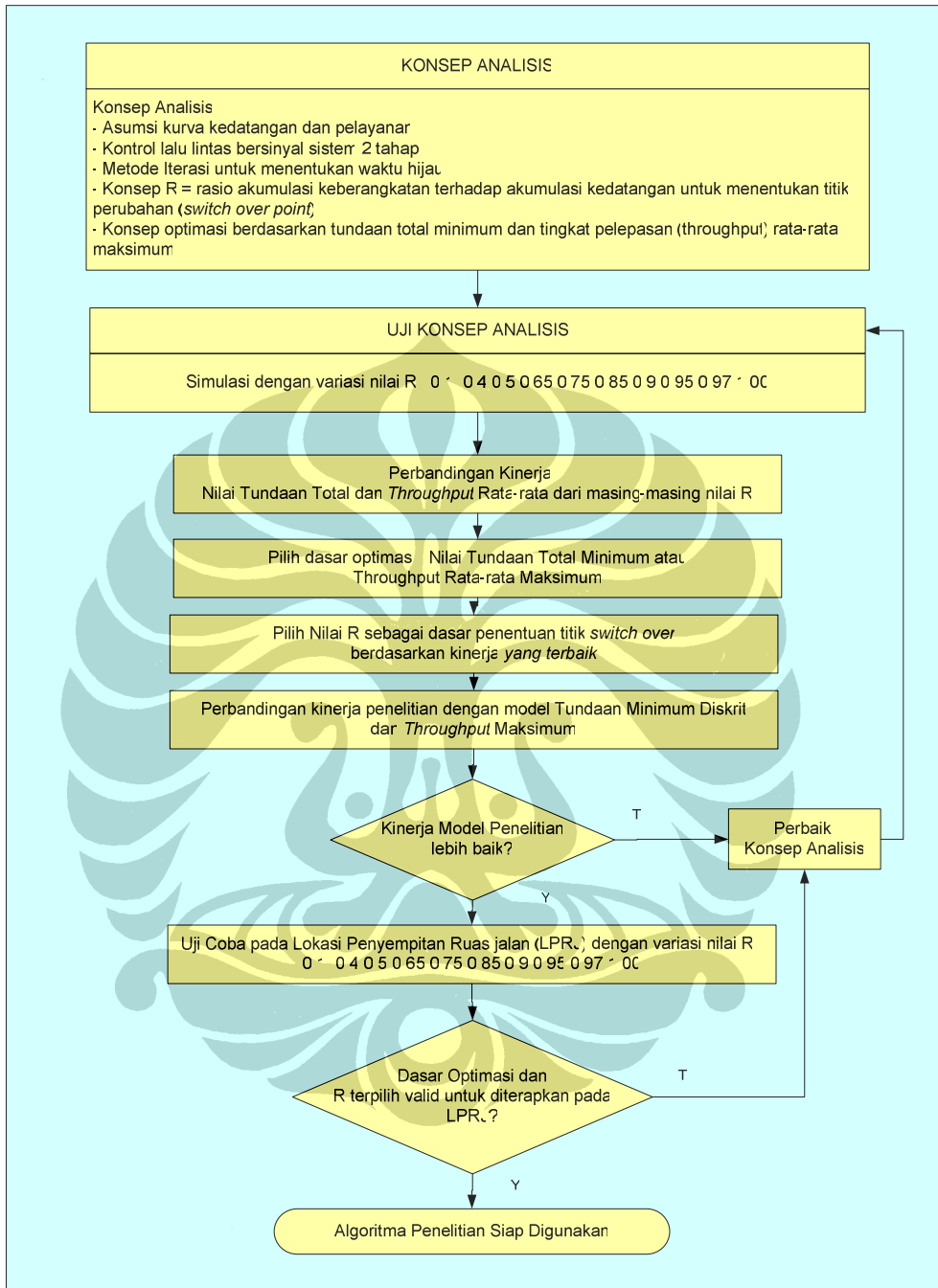
Dengan tujuan untuk mendapatkan kinerja pelayanan APILL pada periode lewat jenuh yang lebih baik, konsep yang dikembangkan dalam penelitian adalah:

- Fungsi kedatangan pada saat periode lewat jenuh adalah fungsi polynomial pangkat 2 dengan titik awal pada koordinat (0,0).
- Fungsi pelayanan agregasi merupakan fungsi linier yang memotong kurva kedatangan pada titik tertentu yang dapat dihitung melalui input lama waktu siklus yang disediakan (c).
- Menggunakan strategi optimum yang tetap melayani kedua antrian diselesaikan pada waktu T dengan operasi dua tahap dengan memberikan nilai R , yaitu rasio akumulasi pelepasan kendaraan terhadap akumulasi kedatangan kendaraan sebagai batas perubahan dari tahap satu ke tahap dua.
- Selama tahap pertama arah 1 dan arah 2 dilayani dengan waktu hijau (g_1, g_2) yang didapatkan dari hasil iterasi. Besaran g_1 dan g_2 harus memenuhi $g_{minimum} < g_i < g_{maksimum}$ untuk $i=1,2$ dan $g_1 + g_2 = c$. Iterasi dilakukan dengan $g_{minimum}$ ditetapkan sebesar $1/4c$ dan $g_{maksimum}$ ditetapkan sebesar $3/4c$. Besaran ini diambil dengan tujuan untuk meminimumkan ketidak seimbangan waktu hijau yang diberikan, yaitu dengan hanya mengijinkan perbedaaan waktu hijau maksimum antara dua pergerakan sebesar $1/2c$. Iterasi tahap pertama dilakukan sampai salah satu arah telah mencapai nilai R yang ditetapkan. Titik ini disebut titik pergantian (*switch over point*).
- Pada tahap dua pelayanan, iterasi yang sama dilakukan seperti pada tahap pertama. Besaran g_1 dan g_2 harus memenuhi $g_{minimum} < g_i < g_{maksimum}$ untuk $i=1,2$ dan $g_1 + g_2 = c$. Iterasi dilakukan dengan $g_{minimum}$ ditetapkan sebesar $1/4c$ dan $g_{maksimum}$ ditetapkan sebesar $3/4c$. Iterasi tahap k dilakukan sampai kedua arah telah mencapai nilai $R \geq 1$. Kondisi ini ditandai dengan tidak adanya antrian kendaraan yang terjadi pada kedua arah pada siklus yang sama ($Q \leq 0$ pada siklus= $n.c$).

- Iterasi yang dilakukan akan menghasilkan lebih dari satu solusi yang memenuhi antrian kedua arah diselesaikan dalam waktu yang sama. Besaran g_1 dan g_2 optimal ditentukan berdasarkan perbandingan nilai tundaan total minimum dan/atau tingkat pelepasan (*throughput*) rata-rata maksimum. Setiap iterasi menghasil 2 pasangan g_1 dan g_2 optimal, yaitu g_1 dan g_2 optimal yang ditetapkan karena memiliki nilai tundaan total minimum dan g_1 dan g_2 optimal yang ditetapkan karena memiliki nilai *throughput* rata-rata maksimum.

Bagan alir tahapan penentuan metode optimasi pada penelitian disajikan pada Gambar 3.4.

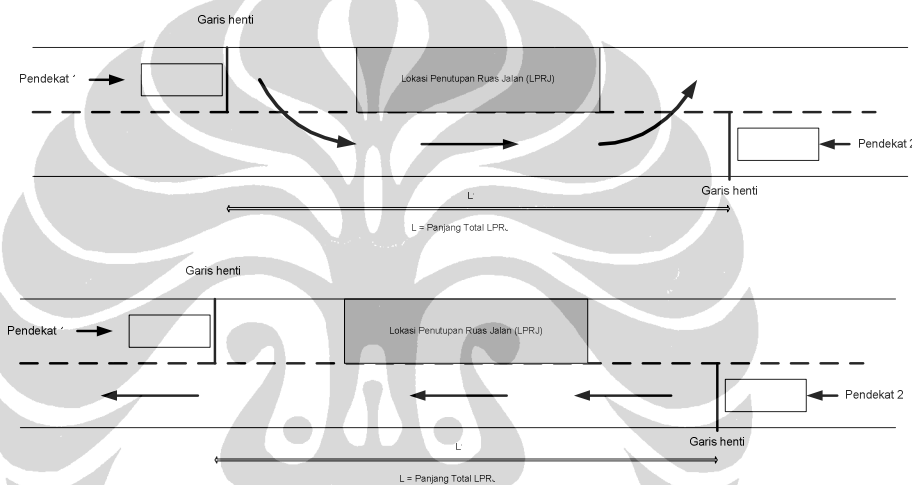




Gambar 3.4. Bagan Alir Penentuan Metode Optimasi Penelitian

3.1.3. Penerapan Kontrol Lalu Lintas Bersinyal Pada LPRJ

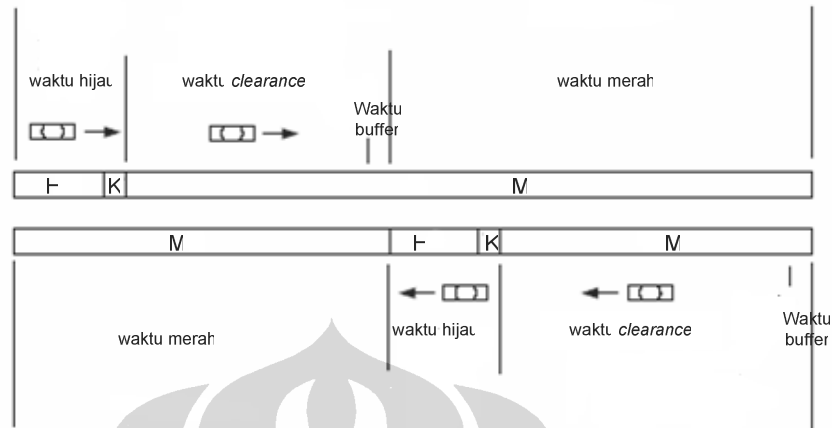
Perencanaan kontrol lalu lintas dengan APILL pada LPRJ identik dengan kontrol lalu lintas bersinyal pada persimpangan dengan 2 (dua) pergerakan, dimana area persimpangan berada pada LPRJ dan pergerakan arus lalu lintas berasal dari pendekat yang berada di lokasi sebelum dan sesudah LPRJ (Gambar 3.5). Masing-masing pendekat ini disebut pendekat 1 dan pendekat 2. Untuk melayani 2 pergerakan yang berasal dari 2 pendekat yang berlawanan, maka pengaturan kontrol lalu lintas bersinyal pada LPRJ merupakan kontrol lalu lintas bersinyal dengan 2 fase.



Gambar 3.5. Arah Pergerakan Lalu Lintas Pada LPRJ

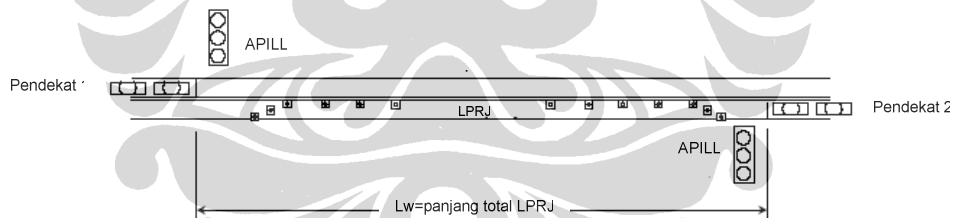
Beberapa unsur perencanaan kontrol lalu lintas dengan pada LPRJ yang perlu menjadi perhatian adalah :

- Kontrol lalu lintas bersinyal pada LPRJ adalah sama dengan kontrol lalu lintas bersinyal pada persimpangan dengan pengaturan dua fase.
- Waktu siklus pada kontrol lalu lintas bersinyal pada LPRJ meliputi waktu hijau, waktu merah, waktu yang diperlukan untuk melintasi LPRJ (waktu *clearance*) dan waktu antara yang diperlukan untuk kepentingan keselamatan. Komponen waktu siklus kontrol lalu lintas bersinyal pada LPRJ disajikan pada Gambar 3.6.
- Panjang LPRJ (L_w) adalah panjang total yang diukur dari garis henti antar pendekat.



Gambar 3.6 . Komponen Waktu Siklus Kontrol Lalu Lintas Bersinyal Pada LPRJ

- d. Kecepatan pada LPRJ (S_w) adalah kecepatan rata-rata tempuh dalam melintasi LPRJ sepanjang L_w . L_w merupakan panjang total LPRJ yang diasumsikan merupakan panjang rata-rata dari garis henti pendekat 1 ke garis henti pendekat 2, seperti disajikan pada Gambar 3.7.



Gambar 3.7. Panjang LPRJ

3.2. Pemilihan Metode Penelitian

3.2.1. Penentuan Metode Optimasi dan Nilai R

Penentuan metode optimasi dilakukan dengan melakukan simulasi kontrol lalu lintas bersinyal pada kondisi arus lewat jenuh. Seperti telah diuraikan pada sub bab 3.1.2. di atas, *switch over point* terjadi pada saat nilai $R_{i,j}(m)$ di salah satu pendekat telah mencapai nilai tertentu, dimana $R_{i,j}(m)$ adalah rasio akumulasi kendaraan yang

dilepas terhadap akumulasi kendaraan yang datang pada pendekat m pada percobaan waktu hijau ke- i dan iterasi ke- j .

Pada tahap ini hasil simulasi terhadap berbagai nilai $R_{i,j}(m)$ akan menentukan *switch over point*. Simulasi dilakukan dengan *switch over point* terjadi pada saat salah pendekat telah mencapai berbagai nilai $R_{i,j}(m)$, yaitu :

$$R_{i,j}(m) \geq 0,1; 0,4; 0,5; 0,65; 0,75; 0,85; 0,9; 0,95; 0,97$$

Simulasi yang dilakukan menghasilkan nilai waktu hijau awal dan waktu hijau sesudah perubahan (*switch over*) pada kedua pendekat yang menghasilkan terselesaikannya antrian di kedua pendekat pada siklus ke- n yang sama dan parameter-parameter kinerjanya.

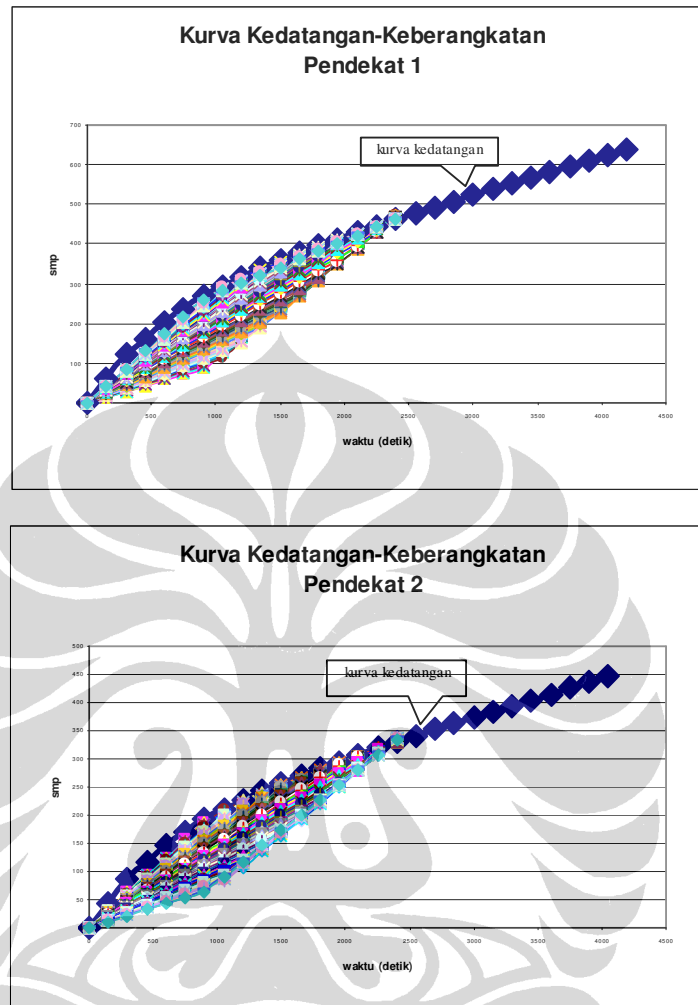
Dengan tujuan agar dapat dibandingkan dengan metode-metode terdahulu, data kedatangan kendaraan yang digunakan dalam simulasi mengacu pada data simulasi yang dilakukan oleh Chang & Lin (2001) dan Talmor & Mahalel (2007), seperti disajikan pada Tabel 3.1. Pada data ini akumulasi kedatangan kendaraan dengan unit satuan mobil penumpang (smp) dideteksi setiap periode 300 detik dan kondisi arus lewat jenuh di setiap pendekat terjadi pada periode 300 detik pertama, sementara kondisi arus jenuh total kedua pendekat terjadi pada periode 300 detik pertama dan kedua.

Setiap simulasi menghasilkan lebih dari 1 nilai variasi waktu hijau yang memenuhi ketentuan menyelesaikan antrian pada siklus ke- n (T) yang sama. Contoh salah satu hasil simulasi disajikan pada Gambar 3.8.

Tabel 3.1. Data Volume Kedatangan Kendaraan dan Derajat Kejenuhan

waktu (detik)	volume kumulatif (smp)	volume per periode	headway (detik)	Kedatangan (smp/jam)	Arus jenuh (smp/jam)	Derajat Kejenuhan
Pendekat 1						
300	121	121	2,48	1452	1400	1,04
600	205	84	3,57	1008	1400	0,72
900	268	63	4,76	756	1400	0,54
1200	318	50	6,00	600	1400	0,43
1500	359	41	7,32	492	1400	0,35
1800	396	37	8,11	444	1400	0,32
2100	430	34	8,82	408	1400	0,29
2400	462	32	9,38	384	1400	0,27
2700	492	30	10,00	360	1400	0,26
3000	523	31	9,68	372	1400	0,27
3300	552	29	10,34	348	1400	0,25
3600	582	30	10,00	360	1400	0,26
3900	611	29	10,34	348	1400	0,25
4200	640	29	10,34	348	1400	0,25
Pendekat 2						
waktu (detik)	volume kumulatif (smp)	volume per periode	headway (detik)	Kedatangan (smp/jam)	Arus jenuh (smp/jam)	Derajat Kejenuhan
300	86	86	3,49	1032	1000	1,03
600	147	61	4,92	732	1000	0,73
900	192	45	6,67	540	1000	0,54
1200	227	35	8,57	420	1000	0,42
1500	257	30	10,00	360	1000	0,36
1800	283	26	11,54	312	1000	0,31
2100	307	24	12,50	288	1000	0,29
2400	330	23	13,04	276	1000	0,28
2700	352	22	13,64	264	1000	0,26
3000	373	21	14,29	252	1000	0,25
3300	394	21	14,29	252	1000	0,25
3600	415	21	14,29	252	1000	0,25
3900	436	21	14,29	252	1000	0,25
4200	457	21	14,29	252	1000	0,25

Sumber : Mahalel (2007)



Gambar 3.8. Contoh Kombinasi Waktu Hijau Pada Pendekat 1 dan Pendekat 2 Yang Memenuhi Penyelesaian Antrian Pada Waktu Yang sama

Simulasi menghasilkan 2 pasangan waktu hijau optimal yang ditetapkan berdasarkan kinerja yang memberikan nilai tundaan total minimum dan nilai pelepasan/*throughput* rata-rata maksimum

Kinerja pelayanan APILL yang dibandingkan adalah sebagai berikut:

- lama periode lewat jenuh (detik)
- tingkat pelepasan (*throughput*) rata-rata dari kedua pendekat (smp/jam)
- Jumlah total kendaraan yang berada pada antrian selama periode lewat jenuh (smp)
- Panjang antrian maksimum pada kedua pendekat (smp)
- Tundaan total (detik)

Rincian kinerja kontrol lalu lintas bersinyal dari pilihan waktu hijau optimal berdasarkan nilai tundaan total minimum dan pilihan waktu hijau optimal berdasarkan nilai *throughput* rata-rata maksimum dari berbagai nilai R disajikan pada Tabel 3.2. Kinerja waktu hijau optimal berdasarkan nilai tundaan total minimum dan pilihan waktu hijau optimal berdasarkan nilai *throughput* rata-rata maksimum dari berbagai nilai R pada Tabel 3.2. selanjutnya dibandingkan dalam persentase perbedaan terhadap kinerja dari waktu hijau optimal yang ditetapkan berdasarkan nilai tundaan total minimum dengan nilai $R=0,95$. Contoh proses pemilihan waktu hijau optimal dari setiap simulasi yang dilakukan disajikan pada Lampiran 4.

Dalam rangka membandingkan kinerja hasil simulasi penentuan waktu hijau optimal berdasarkan nilai tundaan total minimum dan *throughput* rata-rata maksimum dengan berbagai nilai R, ditetapkan kinerja hasil simulasi penentuan waktu hijau optimal berdasarkan nilai tundaan total minimum dengan $R \geq 0,95$ sebagai *nilai dasar*. Kinerja yang dibandingkan terhadap nilai dasar adalah tundaan total, banyaknya kendaraan dalam sistem antrian dan *throughput* rata-rata. Persentase perbandingan terhadap nilai dasar yang disajikan pada Tabel 3.3.

Tabel 3.3 menunjukkan bahwa pada penentuan waktu hijau optimal berdasarkan nilai tundaan total minimum dengan $R < 0,95$, memiliki perbedaan nilai tundaan total yang cukup tinggi bila dibandingkan dengan tundaan total pada nilai dasar. Walaupun nilai *throughput* rata-rata simulasi dengan $R < 0,95$ lebih tinggi dibandingkan nilai dasar, namun perbedaan yang terjadi sangat kecil, bervariasi dari 0,04% sampai 0,15%. Berbeda dengan nilai *throughput* rata-rata, persentase perbedaan nilai tundaan total terhadap nilai dasar bervariasi dari 1,46% sampai 11,78%.

Kondisi yang sama terjadi pada penentuan waktu hijau optimal berdasarkan nilai *throughput* rata-rata maksimum. Persentase perbedaan nilai *throughput* rata-rata terhadap nilai dasar bervariasi antara 0,15% sampai 0,32% dan perbedaan nilai tundaan total terhadap nilai dasar bervariasi antara 6,88% sampai 27,12%.

Tabel 3.2. Kinerja Kontrol Lalu Lintas Bersinyal Berdasarkan Tundaan Total Minimum dan Tingkat Pelepasan (Throughput) Rata-rata Maksimum

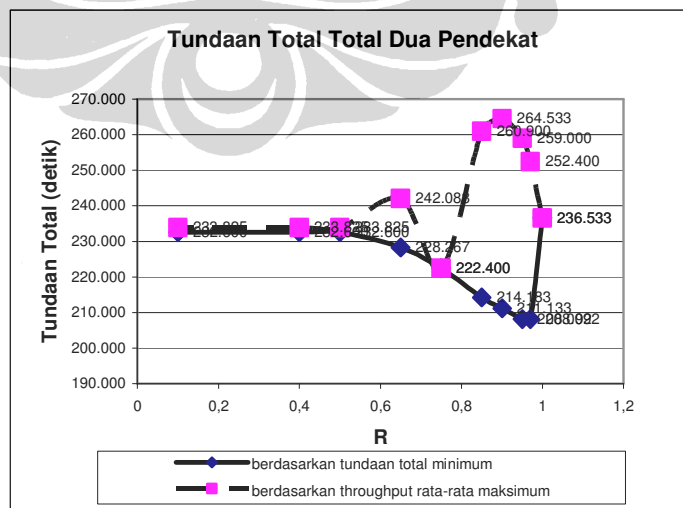
Kinerja	perubahan waktu hijau pada R=									
	1	0,97	0,95	0,9	0,85	0,75	0,65	0,5	0,4	0,1
	Berdasarkan Nilai Tundaan Total Minimum									
Periode lewat jenuh (detik)	2400	2400	2400	2400	2400	2400	2400	2400	2400	2400
tingkat pelepasan/throughput rata-rata (smp/jam)	1.201	1.198	1.198	1.199	1.198	1.200	1.199	1.200	1.200	1.200
Jumlah total kendaraan dalam antrian (smp)	1.581	1.391	1.391	1.411	1.431	1.487	1.525	1.555	1.555	1.555
Antrian terpanjang - pendekat 1,2 (smp, smp))	68,92	38.127	38.127	37.123	34.116	56,95	71,83	83,74	83,74	83,74
total tundaan (detik)	236.533	208.092	208.092	211.133	214.183	222.400	228.267	232.600	232.600	232.600
	Berdasarkan Nilai Pelepasan/Throughput Maksimum									
Periode lewat jenuh (detik)	2400	2400	2400	2400	2400	2400	2400	2400	2400	2400
tingkat pelepasan/throughput rata-rata (smp/jam)	1.201	1.202	1.202	1.201	1.201	1.200	1.200	1.201	1.201	1.201
Jumlah total kendaraan dalam antrian (smp)	1.568	1.568	1.715	1.768	1.744	1.487	1.618	1.563	1.563	1.563
Antrian terpanjang - pendekat 1,2 (smp, smp))	92,68	115,53	136,45	174,25	160,25	56,95	102,61	86,72	86,72	86,72
total tundaan (detik)	236.533	252.400	259.000	264.533	260.900	222.400	242.083	233.825	233.825	233.825

Tabel 3.3. Persentase Perbandingan Kinerja Terhadap Kinerja Berdasarkan Tundaan Total Minimum Dengan Nilai $R \geq 0,95$

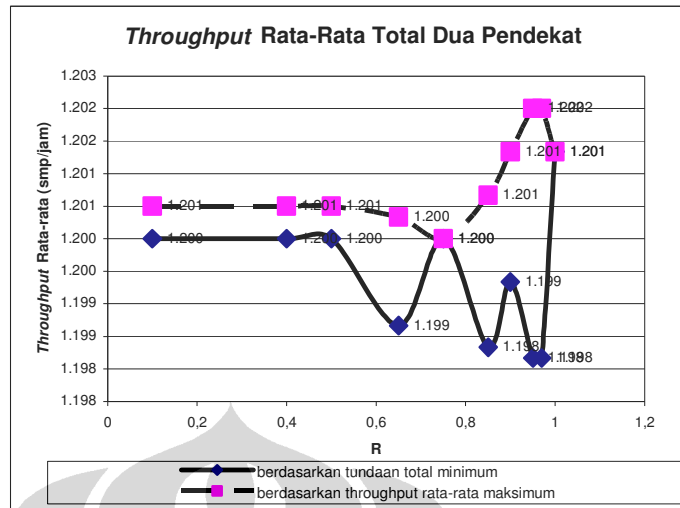
Kinerja	perubahan waktu hijau pada R=									
	1	0,97	0,95	0,9	0,85	0,75	0,65	0,5	0,4	0,1
	Berdasarkan Nilai Tundaan Total Minimum									
tingkat pelepasan/throughput rata-rata (smp/jam)	100,26%	100,00%	100,00%	100,10%	100,01%	100,15%	100,04%	100,15%	100,15%	100,15%
Jumlah total kendaraan dalam antrian (smp)	113,71%	100,00%	100,00%	101,49%	102,92%	106,90%	109,68%	111,79%	111,79%	111,79%
total tundaan (detik)	113,67%	100,00%	100,00%	101,46%	102,93%	106,88%	109,70%	111,78%	111,78%	111,78%
	Berdasarkan Nilai Pelepasan/Throughput Maksimum									
tingkat pelepasan/throughput rata-rata (smp/jam)	100,26%	100,32%	100,32%	100,26%	100,21%	100,15%	100,18%	100,19%	100,19%	100,19%
Jumlah total kendaraan dalam antrian (smp)	112,73%	112,73%	123,31%	127,13%	125,38%	106,90%	116,35%	112,39%	112,39%	112,39%
total tundaan (detik)	113,67%	121,29%	124,46%	127,12%	125,38%	106,88%	116,33%	112,37%	112,37%	112,37%

Kinerja kontrol lalu lintas bersinyal hasil simulasi berupa tundaan total dan *throughput* rata-rata dari kedua pendekatan berdasarkan nilai tundaan total minimum dan nilai pelepasan/*throughput* rata-rata maksimum untuk berbagai nilai R disajikan pada Gambar 3.9. dan Gambar 3.10. Hasil simulasi penentuan waktu hijau optimal yang ditetapkan berdasarkan nilai tundaan total minimum menunjukkan bahwa, pada rentang $R \geq 0,1$ sampai $R \geq 0,97$, semakin besar nilai R memberikan nilai tundaan total yang semakin besar pula. Kinerja yang terbaik, yaitu yang memiliki nilai tundaan total terendah, terjadi pada $R \geq 0,95$ dan $R \geq 0,97$. Namun pada rentang ini tidak memberikan pola nilai *throughput* rata-rata yang teratur. Nilai *throughput* rata-rata tidak memiliki perbedaan secara signifikan, dengan perbedaan kurang dari 1 % antara nilai R yang satu dengan nilai R yang lain. Pada $R=1$, yang berarti pemberian waktu hijau tunggal tanpa adanya perubahan waktu hijau, memberikan hasil tundaan total dan *throughput* rata-rata tertinggi dibandingkan dengan nilai R lainnya.

Pada penentuan waktu hijau optimal yang ditetapkan berdasarkan nilai *throughput* rata-rata maksimum, hasil simulasi menunjukkan bahwa tidak terdapat pola yang teratur baik pada nilai tundaan total maupun *throughput* rata-rata. Hal yang perlu menjadi perhatian adalah, pada $R \geq 0,75$ baik waktu hijau optimal yang ditentukan berdasarkan nilai tundaan total minimum maupun *throughput* rata-rata maksimum, keduanya menghasilkan nilai tundaan total dan *throughput* rata-rata yang sama.



Gambar 3.9. Tundaan Total Untuk Berbagai Nilai R



Gambar 3.10. Throughput Rata-rata Untuk Berbagai Nilai R

Berdasarkan kinerja hasil simulasi yang diuraikan di atas, maka dalam penelitian lebih lanjut, dipilih proses penentuan waktu hijau berdasarkan nilai tundaan minimum dengan perubahan waktu hijau pada $R \geq 0,95$

3.2.2. Perbandingan Dengan Model Tundaan Diskrit Minimum dan Model *Maximum Throughput*

Untuk mengetahui keunggulan metode terpilih yaitu metode optimasi penentuan waktu hijau berdasarkan tundaan total minimum dengan perubahan waktu hijau pada $R \geq 0,95$, dilakukan perbandingan dengan metode yang telah dikembangkan yaitu Model Tundaan Diskrit Minimum (Chang & Lin, 2001) dan Model *Maximum Throughput* (Talmor & Mahalel, 2007). Sebelumnya, Talmor I & Mahalel D (2007) telah membandingkan model yang dikembangkannya terhadap model yang dikembangkan Chang & Lin (2001), seperti diuraikan pada Bab 2. Perbandingan tersebut dievaluasi kembali dan dibandingkan dengan metode penelitian terpilih. Hasil kinerja antara ketiga metode disajikan pada Tabel 3.4 dan persentase perbedaan terhadap Model Tundaan Diskrit Minimum disajikan pada Tabel 3.5.

Dari persentase perbedaan terhadap Model Tundaan Diskrit Minimum seperti diuraikan pada Tabel 3.5. terlihat bahwa kinerja metode penelitian terpilih lebih baik dibandingkan Model Tundaan Diskrit Minimum, dimana metode penelitian terpilih memiliki lama periode lewat jenuh lebih pendek 5,88%,

throughput rata-rata lebih tinggi 1,46%, total kendaraan dalam antrian lebih kecil 13,57% dan tundaan total lebih rendah 12,80%. Kondisi ini lebih baik dibandingkan Model *Maximum Throughput* yang memiliki lama periode lewat jenuh lebih pendek 4,52%, *throughput* rata-rata lebih tinggi 1,16%, total kendaraan dalam antrian lebih kecil 2,69% dan tundaan total lebih rendah 2,34%. Perhitungan rinci kinerja ketiga metode disajikan pada Tabel 3.6, Tabel 3.7 dan Tabel 3.8.

Tabel 3.4. Perbandingan Kinerja

Kinerja	Model		
	Tundaan diskrit Minimum	Maximum Throughput	Penelitian, R=0,95
Periode lewat jenuh (detik)	2550,00	2434,80	2400,00
tingkat pelepasan/throughput rata-rata (smp/jam)	1181	1195	1198
Jumlah total kendaraan dalam antrian (smp)	1609	1566	1391
Antrian terpanjang - pendekat 1,2 (smp, smp)	63, 107	60, 97	38.127
tundaan total (detik)	238.625	233.035	208.092

Sumber : Talmor I & Mahalel D (2007) & Hasil Perhitungan (2009)

Tabel 3.5. Persentase Perbaikan Kinerja Terhadap Model Tundaan Diskrit Minimum

Kinerja	Model	
	Maximum Throughput	Penelitian, R=0,95
Periode lewat jenuh (detik)	4.52%	5.88%
tingkat pelepasan/throughput rata-rata (smp/jam)	1.16%	1.46%
Jumlah total kendaraan dalam antrian (smp)	2.69%	13.57%
tundaan total (detik)	2.34%	12.80%

Sumber : Talmor I & Mahalel D (2007) & Hasil Perhitungan (2009)

Tabel 3.6. . Kinerja Model Tundaan Diskrit Minimum

no.siklus	waktu siklus	Pendekat 1		g11=97,5 detik	pnj antrian	kend.yg dilepas/ siklus	kumulatif kend.yg dilepas	Pendekat 2		g12=32,5 detik	pnj antrian	kend.yg dilepas/ siklus	kumulatif kend.yg dilepas	Pendekat 1		Pendekat 2	
		kumulatif volume kendr datang	Perkiraan Volume/ siklus					kumulatif volume kendr datang	Perkiraan Volume/ siklus					tundaan rata-rata	total tundaan	tundaan rata-rata	total tundaan
	detik	kendaraan	kendaraan	kendaraan	kendaraan	kendaraan	kendaraan	kendaraan	kendaraan	kendaraan	kendaraan	kendaraan	kendaraan	detik/kend	detik	detik/kend	detik
1	150	61	61	26	35	35	43	43	28	15	15	64	3900	99	4263		
2	300	121	60	48	39	73	86	43	57	15	29	60	7200	99	8525		
3	450	163	42	59	31	104	117	31	73	15	44	54	8850	94	10913		
4	600	205	42	63	38	142	147	31	89	15	58	46	9450	90	13300		
5	750	237	32	60	35	177	170	23	97	15	73	38	9000	85	14488		
6	900	268	32	53	39	215	192	23	105	15	88	30	7950	82	15675		
7	1050	293	25	43	35	250	210	18	107	15	102	22	6450	77	16113		
			g12=60 detik					g22=90 detik									
8	1200	318	25	38	30	280	227	18	100	25	127	18	5700	66	14988		
9	1350	339	21	38	21	301	242	15	90	25	152	17	5700	56	13488		
10	1500	359	21	35	24	324	257	15	80	25	177	15	5250	47	11988		
11	1650	378	19	32	22	346	270	13	68	25	202	13	4800	38	10188		
12	1800	396	19	27	24	369	283	13	56	25	227	10	4050	30	8388		
13	1950	413	17	21	23	392	295	12	43	25	252	8	3150	22	6438		
14	2100	430	17	15	23	415	307	12	30	25	277	5	2250	15	4488		
15	2250	446	16	9	22	437	319	12	16	25	302	3	1350	8	2463		
16	2400	462	16	1	24	461	330	12	3	25	327	0	150	1	438		
17	2550	477	15	-7	23	477	341	11	-11	25	341	-2	-1050	-5	-1663		
			(tidak ada antrian)					(tidak ada antrian)					total tundaan	84150	total tundaan	154475	
		Pendekat 1					Pendekat 2						total tundaan simpang			238625	
		panjang antrian maksimum (smp)			63	smp	panjang antrian maksimum (smp)				107	smp					
		total kendaraan dalam antrian (smp)			568	smp	total kendaraan dalam antrian (smp)				1041	smp					
		rata rata kend dilepas/siklus (smp/jam)			684	smp/jam	rata rata kend dilepas/siklus (smp/jam)				497	smp/jam					
		rata-rata kend.dilepas/siklus total pendekat 1+2 (smp/jam)			1181	smp/jam											
		total antrian pendekat 1+2 (smp)			1609	smp											

Sumber : Talmor I & Mahalel D (2007) & Hasil Perhitungan (2009)

Tabel 3.7.. Kinerja Model Maximum Throughput

no.siklus	waktu	Pendekat 1		g11=83,1 detik	pnj antrian	kend.yg dilepas/siklus	kumulatif kend.yg dilepas	Pendekat 2		g12=52,5 detik	pnj antrian	kend.yg dilepas/siklus	kumulatif kend.yg dilepas	Pendekat 1		Pendekat 2		
		Volume Kumulatif Pendekat 1	kend yg dilepas					Volume Kumulatif Pendekat 1	kend yg dilepas					tundaan rata-rata	total tundaan	tundaan rata-rata	total tundaan	
	detik	smp	smp		smp	smp	smp	smp	smp		smp	smp	smp	detik/kend	detik	detik/kend	detik	
1	135,6	55	23	32	32	32	39	39	24	15	15	15	15	62	3403	94	3643	
2	271,2	109	54	45	32	65	78	39	49	15	29	15	29	61	6713	94	7287	
3	406,8	151	42	54	32	97	108	30	64	15	44	15	44	54	8093	89	9595	
4	542,4	189	38	60	32	129	135	28	77	15	58	15	58	47	8941	85	11543	
5	678,0	221	33	60	32	162	159	23	86	15	73	15	73	41	8970	81	12868	
6	813,6	250	28	56	32	194	179	20	92	15	88	15	88	34	8393	77	13731	
7	949,2	276	26	50	32	226	199	20	97	15	102	15	102	27	7498	73	14595	
8	1084,8	299	23	40	32	259	214	14	97	15	117	15	117	20	6040	68	14534	
			g12=60 detik					g22=90 detik										
9	1234,8	323	24	41	23	282	230	17	89	25	142	25	142	19	6133	58	13322	
10	1384,8	343	21	38	23	305	245	15	79	25	167	25	167	17	5708	48	11822	
11	1534,8	363	20	35	23	329	260	15	68	25	192	25	192	14	5214	39	10252	
12	1684,8	382	19	30	23	352	273	13	56	25	217	25	217	12	4489	31	8452	
13	1834,8	400	18	25	23	375	286	13	44	25	242	25	242	9	3712	23	6618	
14	1984,8	417	17	18	23	399	298	12	31	25	267	25	267	7	2762	16	4668	
15	2134,8	434	17	12	23	422	310	12	18	25	292	25	292	4	1777	9	2718	
16	2284,8	450	16	5	23	445	321	11	5	25	317	25	317	2	677	2	675	
17	2434,8	465	16	-3	23	465	333	12	-9	25	333	25	333	-1	-458	-4	-1350	
			(tidak ada antrian)						(tidak ada antrian)						total tundaan	88063	total tundaan	144972
															total tundaan simpang	233035		
		Pendekat 1				Pendekat 2												
		panjang antrian maksimum (smp)				60				panjang antrian maksimum (smp)				97				
		total kendaraan dalam antrian (smp)				590				total kendaraan dalam antrian (smp)				975				
		rata rata kend dilepas/siklus (smp/jam)				685				rata rata kend dilepas/siklus (smp/jam)				510				

Sumber : Talmor I & Mahalel D (2007) & Hasil Perhitungan (2009)

Tabel 3.8. Kinerja Model Penelitian – Pergantian Waktu Hijau Pada $R \geq 0,95$

Volume Kumulatif dan Panjang Antrian - Model Penelitian, Waktu Siklus 150 detik, R=0,95														
no.skus	waktu siklus	Pendekat 1		panjang antrian	kend.yg dilepas/siklus	kumulatif kend.yg dilepas	Pendekat 2		panjang antrian	kend.yg dilepas/siklus	kumulatif kend.yg dilepas	Pendekat 1	Pendekat 2	
		kumulatif volume kendr datang	perkiraan volume/siklus				kumulatif volume kendr datang	perkiraan volume/siklus				total tundaan	total tundaan	
	detik	smp	smp	smp	smp	smp	detik	smp	smp	smp	smp	detik	detik	
1	150	61	61	19	42	42	43	43	31	12	12	1402	2340	
2	300	121	61	37	42	84	86	43	62	12	24	4206	7019	
3	450	163	42	38	42	125	117	31	81	12	35	5623	10760	
4	600	205	42	38	42	167	147	31	100	12	47	5652	13565	
5	750	237	32	27	42	209	170	23	110	12	59	4894	15769	
6	900	268	32	17	42	251	192	23	121	12	71	3348	17373	
7	1050	293	25	0	42	293	210	18	127	12	83	1315	18602	
			<i>g21=48,5 detik</i>				<i>g22=101,5 detik</i>							
8	1200	318	25	7	19	312	227	18	116	28	111	515	18227	
9	1350	339	21	8	19	330	242	15	103	28	139	1098	16435	
10	1500	359	21	10	19	349	257	15	90	28	167	1344	14456	
11	1650	378	19	9	19	368	270	13	75	28	195	1440	12327	
12	1800	396	19	9	19	387	283	13	59	28	224	1385	10048	
13	1950	413	17	7	19	406	295	12	43	28	252	1219	7694	
14	2100	430	17	5	19	425	307	12	27	28	280	940	5265	
15	2250	446	16	2	19	444	319	12	10	28	308	585	2798	
16	2400	462	16	0	19	462	330	12	-6	28	336	156	294	
				(tidak ada antrian)					(tidak ada antrian)			total tundaan	35.121	172.971
												tundaan simpang	208.092	

Pendekat 1

panjang antrian maksimum (smp)

total kendaraan dalam antrian (smp)

38

234

Pendekat 2

panjang antrian maksimum (smp)

total kendaraan dalam antrian (smp)

127

1156

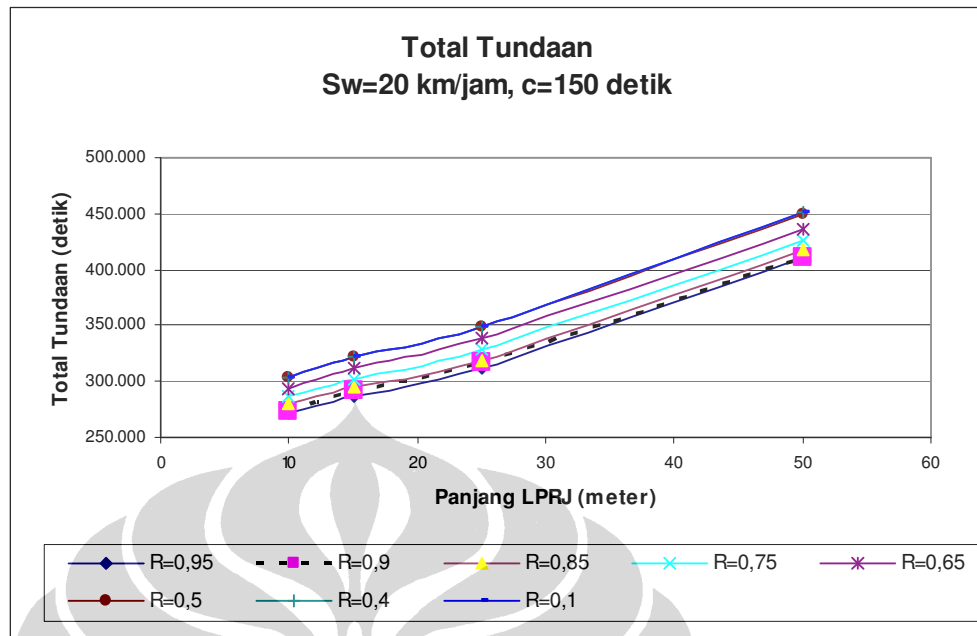
Sumber : Hasil Perhitungan, 2009

3.2.3. Penerapan Pada LPRJ Dengan Variasi Nilai R

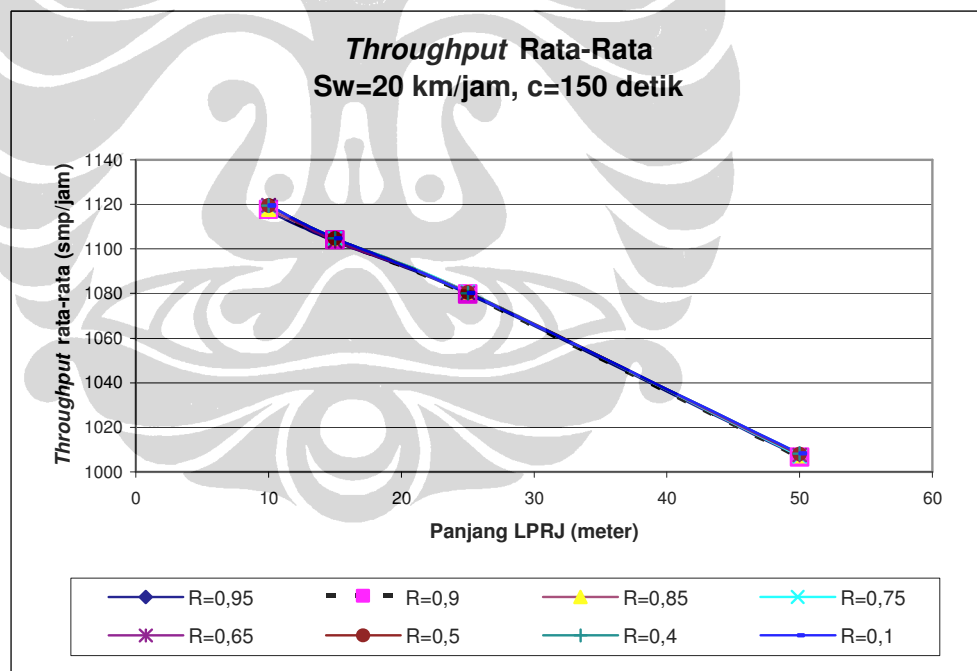
Metode optimasi berdasarkan tundaan total minimum selanjutnya diterapkan dalam simulasi kontrol lalu lintas bersinyal pada LPRJ. Pada tahapan ini nilai R dan penetapan waktu hijau berdasarkan tundaan total minimum diuji kembali untuk memastikan besaran nilai R yang mewakili dan dasar pemilihan waktu hijau optimum. Dengan menggunakan data yang sama dengan simulasi sebelumnya (Data Tabel 3.1), Simulasi dilakukan berdasarkan variasi nilai R , waktu siklus (c), variasi panjang total LPRJ (Lw) dan Kecepatan rata-rata pada LPRJ (Sw) sebagai berikut

R	:	$\geq 0,95; 0,9; 0,85; 0,75; 0,65; 0,5; 0,4$ dan 0,1
c (detik)	:	150 dan 240 detik
Lw (meter)	:	10, 25, dan 50 meter
Sw (km/jam)	:	20 dan 30

Hasil simulasi berbagai variasi nilai R dan variasi panjang total LPRJ (Lw) pada waktu siklus (c) 150 detik dan kecepatan rata-rata pada LPRJ (Sw) 20 km/jam disajikan pada Gambar 3.11a dan Gambar 3.11b, dan untuk kecepatan rata-rata pada LPRJ (Sw) 30 km/jam disajikan pada Gambar 3.12a dan Gambar 3.12b. Sedangkan hasil simulasi berbagai variasi nilai R dan variasi panjang total LPRJ (Lw) pada waktu siklus (c) 240 detik disajikan pada Gambar 3.13a, Gambar 3.13b, Gambar 3.14a dan Gambar 3.14b.

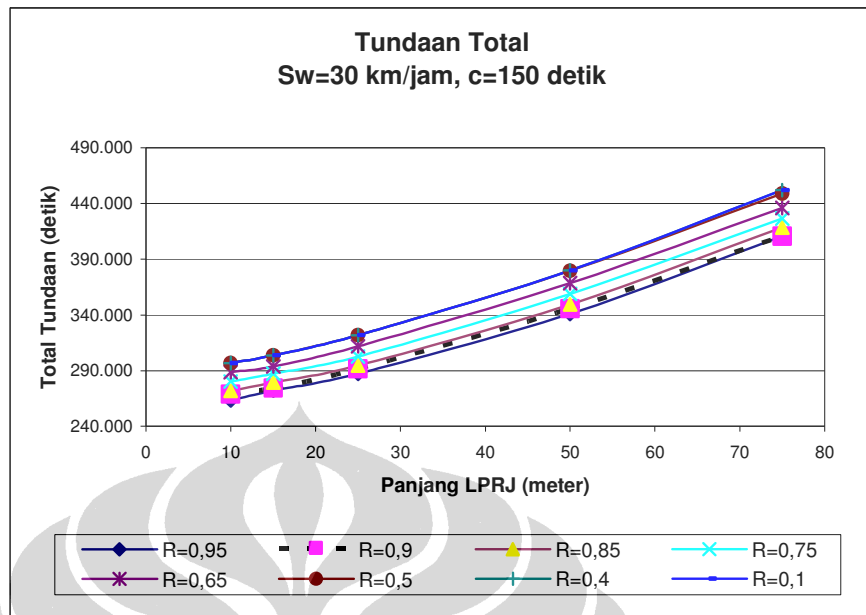


(a)

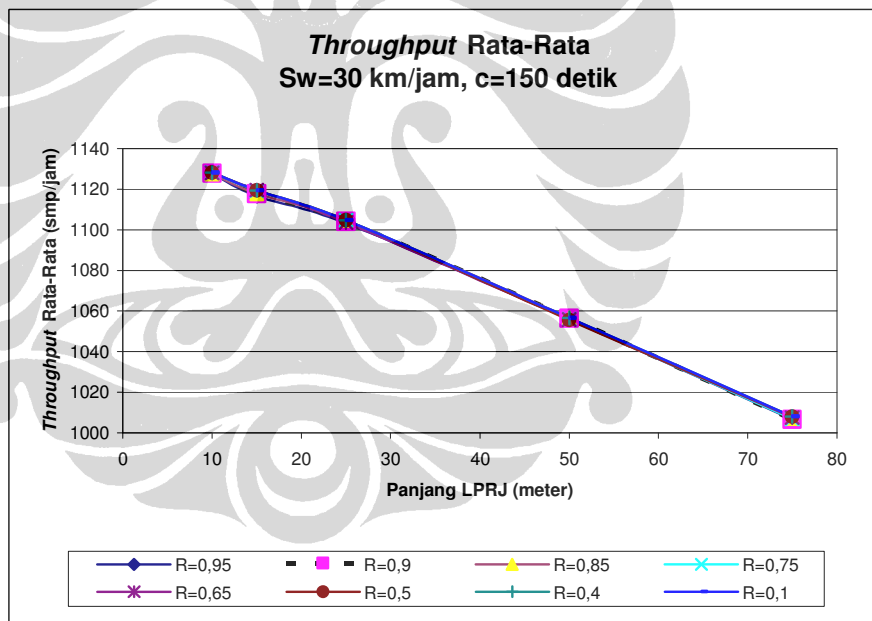


(b)

Gambar 3.11 Tundaan Total dan Throughput Rata-Rata Pada $c=150$ detik dan $Sw=20$ km/jam

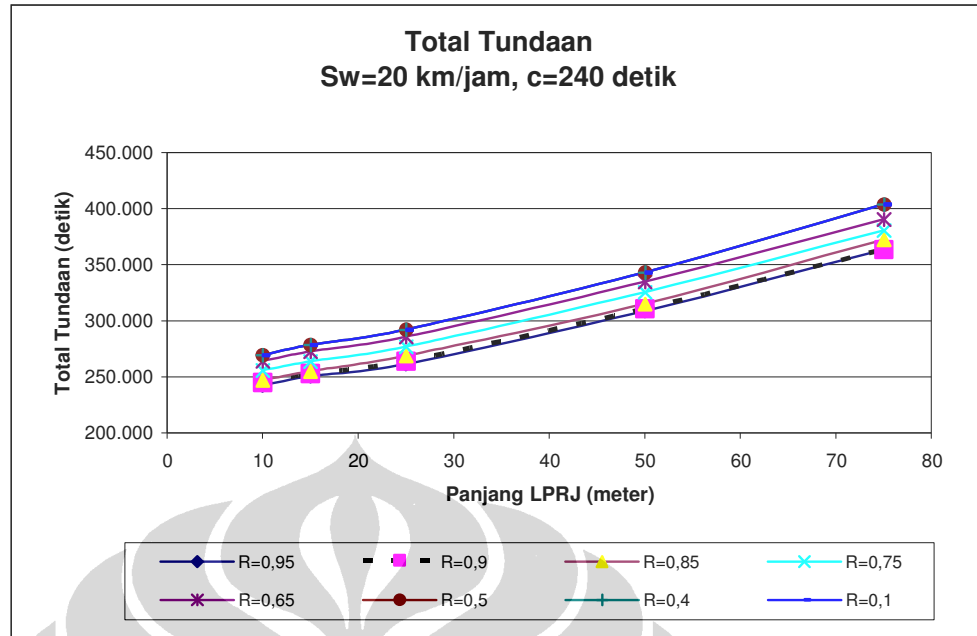


(a)

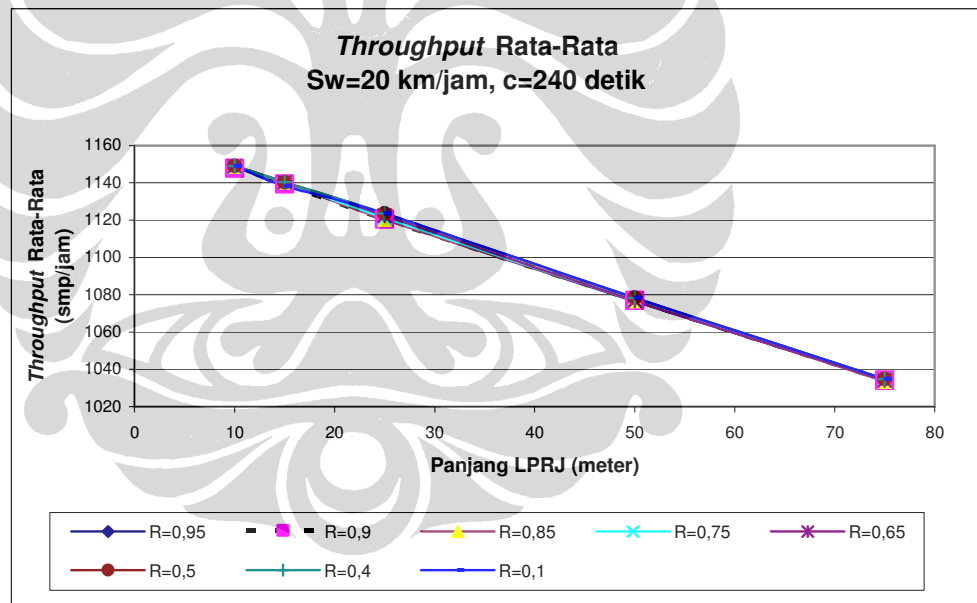


(b)

Gambar 3.12 Tundaan Total dan Throughput Rata-Rata Pada $c=150$ detik dan $Sw=30$ km/jam

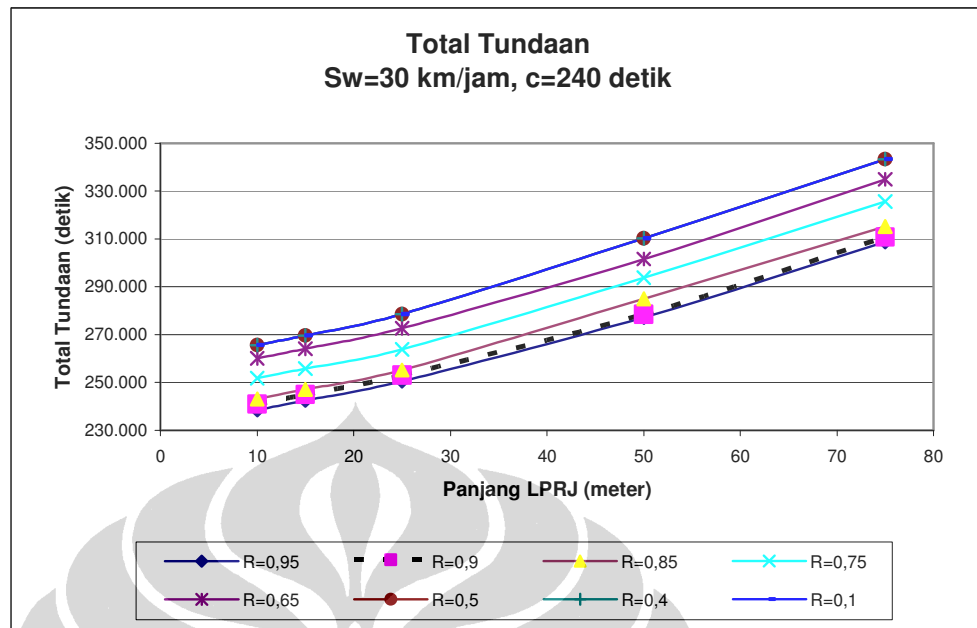


(a)

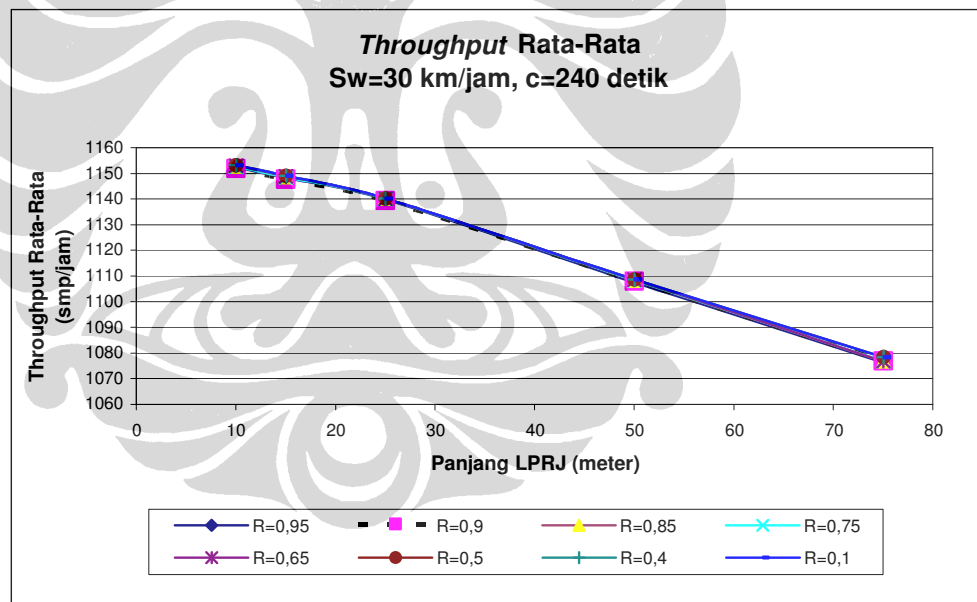


(b)

Gambar 3.13 Tundaan Total dan Throughput Rata-Rata Pada $c=240$ detik dan $Sw=20$ km/jam



(a)



(b)

Gambar 3.14 Tundaan Total dan Throughput Rata-Rata Pada $c=240$ detik dan $Sw=30$ km/jam

Hasil simulasi pada Gambar 3.11 sampai Gambar 3.14 menunjukkan bahwa makin besar nilai R, makin kecil tundaan total yang terjadi, sedangkan pada nilai *throughput* rata-rata tidak memberikan angka kecenderungan yang signifikan. Untuk kedua waktu siklus, baik pada $S_w=20$ km/jam maupun 30 km/jam, kinerja yang terbaik untuk tundaan total terjadi pada titik perubahan waktu hijau (*switch over point*) $R \geq 0,95$, sedangkan nilai *throughput* rata-rata bervariasi dengan perbedaan yang sangat kecil.

Hasil simulasi juga menunjukkan bahwa semakin panjang LPRJ semakin besar tundaan total dan semakin kecil *throughput* rata-rata yang terjadi. Untuk dapat membandingkan hasil antar variasi R, hasil simulasi dengan $R \geq 0,95$ digunakan sebagai acuan dan disebut nilai dasar. Persentase perbedaan tundaan total dan *throughput* rata-rata pada berbagai nilai R dan panjang LPRJ disajikan pada Tabel 3.9 sampai Tabel 3.12. Perubahan waktu hijau pada nilai R yang berbeda memberikan hasil tundaan total yang berbeda secara signifikan. Pada keempat Tabel tersebut terlihat bahwa nilai R memiliki pengaruh yang signifikan pada tundaan total. Rincian hasil simulasi dari berbagai nilai R disajikan pada Tabel 3.13 sampai Tabel 3.16.

Tabel 3.9. Perbandingan Tundaan Total dan Throughput Rata-rata Pada $Sw=20$ km/jam dan $c=150$ detik

R	Lw=10 meter	
	% tundaan thd R=0,95	% throughput thd R=0,95
0,95	100,00%	100,00%
0,9	100,71%	100,10%
0,85	102,62%	100,10%
0,75	105,51%	100,24%
0,65	107,89%	100,26%
0,5	111,51%	100,25%
0,4	111,51%	100,25%
0,1	111,51%	100,25%
R	Lw=15 meter	
	% tundaan thd R=0,95	% throughput thd R=0,95
0,95	100,00%	100,00%
0,9	101,51%	100,08%
0,85	102,57%	100,11%
0,75	105,31%	100,13%
0,65	108,52%	100,03%
0,5	111,98%	100,13%
0,4	111,98%	100,13%
0,1	111,98%	100,13%
R	Lw=25 meter	
	% tundaan thd R=0,95	% throughput thd R=0,95
0,95	100,00%	100,00%
0,9	101,96%	100,00%
0,85	102,44%	100,09%
0,75	105,57%	100,09%
0,65	108,77%	100,05%
0,5	112,01%	100,06%
0,4	112,04%	100,04%
0,1	112,04%	100,04%
R	Lw=50 meter	
	% tundaan thd R=0,95	% throughput thd R=0,95
0,95	100,00%	100,00%
0,9	100,05%	100,00%
0,85	101,92%	100,04%
0,75	103,87%	100,03%
0,65	106,19%	100,09%
0,5	109,35%	100,13%
0,4	110,09%	100,15%
0,1	110,09%	100,15%

Tabel 3.10. Perbandingan Tundaan Total dan Throughput Rata-rata Pada $S_w=30$ km/jam dan $c=150$ detik

R	Lw=10 meter	
	% tundaan thd R=0,95	% throughput thd R=0,95
0,95	100,00%	100,00%
0,9	102,13%	100,03%
0,85	103,27%	100,00%
0,75	106,39%	100,05%
0,65	109,56%	100,04%
0,5	112,70%	100,05%
0,4	112,70%	100,05%
0,1	112,70%	100,05%
R	Lw=15 meter	
	% tundaan thd R=0,95	% throughput thd R=0,95
0,95	100,00%	100,00%
0,9	100,71%	100,10%
0,85	102,62%	100,10%
0,75	105,51%	100,24%
0,65	107,89%	100,26%
0,5	111,51%	100,25%
0,4	111,51%	100,25%
0,1	111,51%	100,25%
R	Lw=25 meter	
	% tundaan thd R=0,95	% throughput thd R=0,95
0,95	100,00%	100,00%
0,9	101,51%	100,08%
0,85	102,57%	100,11%
0,75	105,31%	100,13%
0,65	108,52%	100,03%
0,5	111,98%	100,13%
0,4	111,98%	100,13%
0,1	111,98%	100,13%
R	Lw=50 meter	
	% tundaan thd R=0,95	% throughput thd R=0,95
0,95	100,00%	100,00%
0,9	101,34%	100,04%
0,85	102,51%	100,06%
0,75	105,24%	100,00%
0,65	108,10%	99,99%
0,5	111,38%	99,96%
0,4	111,41%	100,06%
0,1	111,41%	100,06%
R	Lw=75 meter	
	% tundaan thd R=0,95	% throughput thd R=0,95
0,95	100,00%	100,00%
0,9	100,47%	100,01%
0,85	102,01%	100,00%
0,75	104,24%	100,04%
0,65	106,47%	100,03%
0,5	109,10%	100,17%
0,4	110,44%	100,13%
0,1	110,44%	100,13%

Tabel 3.11. Perbandingan Tundaan Total dan Throughput Rata-rata Pada $S_w=20$ km/jam dan $c=240$ detik

R	Lw=10 meter	
	% tundaan thd R=0,95	% throughput thd R=0,95
0,95	100,00%	100,00%
0,9	101,01%	99,96%
0,85	101,89%	100,04%
0,75	105,49%	100,03%
0,65	108,90%	100,07%
0,5	111,18%	100,08%
0,4	111,18%	100,08%
0,1	111,18%	100,08%
R	Lw=15 meter	
	% tundaan thd R=0,95	% throughput thd R=0,95
0,95	100,00%	100,00%
0,9	100,97%	99,96%
0,85	101,83%	100,04%
0,75	105,31%	100,03%
0,65	108,83%	100,04%
0,5	111,16%	100,04%
0,4	111,16%	100,04%
0,1	111,16%	99,86%
R	Lw=25 meter	
	% tundaan thd R=0,95	% throughput thd R=0,95
0,95	100,00%	100,00%
0,9	100,95%	99,99%
0,85	102,88%	99,96%
0,75	105,95%	100,05%
0,65	109,33%	100,16%
0,5	111,81%	100,26%
0,4	111,81%	100,26%
0,1	111,81%	100,26%
R	Lw=50 meter	
	% tundaan thd R=0,95	% throughput thd R=0,95
0,95	100,00%	100,00%
0,9	100,66%	100,05%
0,85	102,09%	100,04%
0,75	105,48%	100,05%
0,65	108,49%	100,04%
0,5	111,23%	100,19%
0,4	111,23%	100,19%
0,1	111,23%	100,19%
R	Lw=75 meter	
	% tundaan thd R=0,95	% throughput thd R=0,95
0,95	100,00%	100,00%
0,9	100,00%	100,00%
0,85	102,42%	99,94%
0,75	104,65%	100,02%
0,65	107,43%	99,99%
0,5	111,05%	100,06%
0,4	111,05%	100,06%
0,1	111,05%	100,06%

Tabel 3.12. Perbandingan Tundaan Total dan Throughput Rata-rata Pada $S_w=30$ km/jam dan $c=240$ detik

R	Lw=10 meter	
	% tundaan thd R=0,95	% throughput thd R=0,95
0,95	100,00%	100,00%
0,9	101,02%	99,96%
0,85	101,92%	100,04%
0,75	105,58%	100,03%
0,65	110,74%	99,70%
0,5	113,06%	99,72%
0,4	113,06%	99,72%
0,1	113,06%	99,72%
R	Lw=15 meter	
	% tundaan thd R=0,95	% throughput thd R=0,95
0,95	100,00%	100,00%
0,9	101,01%	99,96%
0,85	101,89%	100,04%
0,75	105,49%	100,03%
0,65	108,90%	100,07%
0,5	111,18%	100,08%
0,4	111,18%	100,08%
0,1	111,18%	100,08%
R	Lw=25 meter	
	% tundaan thd R=0,95	% throughput thd R=0,95
0,95	100,00%	100,00%
0,9	100,97%	99,96%
0,85	101,83%	100,04%
0,75	105,31%	100,03%
0,65	108,83%	100,04%
0,5	111,16%	100,04%
0,4	111,16%	100,04%
0,1	111,16%	100,04%
R	Lw=50 meter	
	% tundaan thd R=0,95	% throughput thd R=0,95
0,95	100,00%	100,00%
0,9	100,44%	100,05%
0,85	102,80%	100,08%
0,75	105,98%	100,08%
0,65	108,82%	100,10%
0,5	111,94%	100,11%
0,4	111,94%	100,11%
0,1	111,94%	100,11%
R	Lw=75 meter	
	% tundaan thd R=0,95	% throughput thd R=0,95
0,95	100,00%	100,00%
0,9	100,66%	100,05%
0,85	102,09%	100,04%
0,75	105,48%	100,05%
0,65	108,49%	100,04%
0,5	111,23%	100,19%
0,4	111,23%	100,19%
0,1	111,23%	100,19%

Tabel 3.13. Hasil Simulasi Pada $S_w=20$ km/jam dan $c=150$ detik

R	Panjang LPRJ	Kecepatan LPRJ	Waktu Siklus (detik)	waktu hijau 1 (detik)		waktu hijau 2 (detik)		periode lewat jenuh (detik)	total tundaan (detik)			rata-rata <i>throughput</i> (kend/jam)		
	meter	km/jam		1	2	1	2		1	2	total	1,00	2,00	total
0,95	10	20	150	100	40	46	94	2850	54.121	218.129	272.250	641,54	475,09	1116,63
0,9	10	20	150	102	38	50	90	2850	60.888	213.296	274.183	645,47	472,28	1117,75
0,85	10	20	150	102	38	54	86	2850	79.088	200.296	279.383	645,47	472,28	1117,75
0,75	10	20	150	97	43	60	80	2850	106.650	180.608	287.258	650,88	468,42	1119,30
0,65	10	20	150	101	39	64	76	2850	129.283	164.442	293.725	651,86	467,72	1119,58
0,5	10	20	150	102	38	68	72	2850	163.788	139.796	303.583	651,37	468,07	1119,44
0,4	10	20	150	102	38	68	72	2850	163.788	139.796	303.583	651,37	468,07	1119,44
0,1	10	20	150	102	38	68	72	2850	163.788	139.796	303.583	651,37	468,07	1119,44

R	Panjang LPRJ	Kecepatan LPRJ	Waktu Siklus (detik)	waktu hijau 1 (detik)		waktu hijau 2 (detik)		periode lewat jenuh (detik)	total tundaan (detik)			rata-rata <i>throughput</i> (kend/jam)		
	meter	km/jam		1	2	1	2		1	2	total	1,00	2,00	total
0,95	15	20	150	100	38	46	92	2850	54.121	233.171	287.292	641,54	461,75	1103,30
0,9	15	20	150	100	38	51	87	2850	69.346	222.296	291.642	644,49	459,65	1104,14
0,85	15	20	150	97	41	53	85	2850	79.933	214.733	294.667	645,96	458,60	1104,56
0,75	15	20	150	98	40	59	79	2850	107.554	195.004	302.558	646,46	458,25	1104,70
0,65	15	20	150	100	38	63	75	2850	139.813	171.963	311.775	642,53	461,05	1103,58
0,5	15	20	150	92	46	68	70	2850	174.579	147.129	321.708	646,46	458,25	1104,70
0,4	15	20	150	92	46	68	70	2850	174.579	147.129	321.708	646,46	458,25	1104,70
0,1	15	20	150	92	46	68	70	2850	174.579	147.129	321.708	646,46	458,25	1104,70

lanjutan Tabel 3.13

R	Panjang LPRJ	Kecepatan LPRJ	Waktu Siklus (detik)	waktu hijau 1 (detik)		waktu hijau 2 (detik)		periode lewat jenuh (detik)	total tundaan (detik)			rata-rata <i>throughput</i> (kend/jam)		
	meter	km/jam		1	2	1	2		1	2	total	1,00	2,00	total
0,95	25	20	150	96	39	44	91	3000	57.267	254.167	311.433	629,07	450,67	1079,73
0,9	25	20	150	95	40	49	86	3000	78.617	238.917	317.533	629,07	450,67	1079,73
0,85	25	20	150	97	38	52	83	3000	83.896	235.146	319.042	632,33	448,33	1080,67
0,75	25	20	150	97	38	58	77	3000	118.021	210.771	328.792	632,33	448,33	1080,67
0,65	25	20	150	90	45	62	73	3000	152.817	185.917	338.733	630,93	449,33	1080,27
0,5	25	20	150	77	58	66	69	3000	188.138	160.688	348.825	631,40	449,00	1080,40
0,4	25	20	150	97	38	66	69	3000	188.488	160.438	348.925	630,47	449,67	1080,13
0,1	25	20	150	97	38	66	69	3000	188.488	160.438	348.925	630,47	449,67	1080,13

R	Panjang LPRJ	Kecepatan LPRJ	Waktu Siklus (detik)	waktu hijau 1 (detik)		waktu hijau 2 (detik)		periode lewat jenuh (detik)	total tundaan (detik)			rata-rata <i>throughput</i> (kend/jam)		
	meter	km/jam		1	2	1	2		1	2	total	1,00	2,00	total
0,95	50	20	150	83	43	42	84	3600	102.900	307.650	410.550	583,33	423,33	1006,67
0,9	50	20	150	87	39	45	81	3600	103.600	307.150	410.750	583,33	423,33	1006,67
0,85	50	20	150	88	38	50	76	3600	130.433	287.983	418.417	584,89	422,22	1007,11
0,75	50	20	150	86	40	53	73	3600	158.463	267.963	426.425	584,50	422,50	1007,00
0,65	50	20	150	85	41	57	69	3600	191.917	244.067	435.983	586,44	421,11	1007,56
0,5	50	20	150	77	49	61	65	3600	237.300	211.650	448.950	588,00	420,00	1008,00
0,4	50	20	150	88	38	62	64	3600	247.858	204.108	451.967	588,78	419,44	1008,22
0,1	50	20	150	88	38	62	64	3600	247.858	204.108	451.967	588,78	419,44	1008,22

Sumber : Hasil Perhitungan, 2009

Tabel 3.14. Hasil Simulasi Pada $Sw=30$ km/jam dan $c=150$ detik

R	Panjang LPRJ	Kecepatan LPRJ	Waktu Siklus (detik)	waktu hijau 1 (detik)		waktu hijau 2 (detik)		periode lewat jenuh (detik)	total tundaan (detik)			rata-rata <i>throughput</i> (kend/jam)		
	meter	km/jam		1	2	1	2		1	2	total	1,00	2,00	total
0,95	10	30	150	102	39	45	96	2700	43.850	219.500	263.350	656,44	471,11	1127,56
0,9	10	30	150	101	40	51	90	2700	63.508	205.458	268.967	657,48	470,37	1127,85
0,85	10	30	150	103	38	54	87	2700	73.950	198.000	271.950	656,44	471,11	1127,56
0,75	10	30	150	98	43	60	81	2700	102.708	177.458	280.167	658,52	469,63	1128,15
0,65	10	30	150	98	43	65	76	2700	131.963	156.563	288.525	658,00	470,00	1128,00
0,5	10	30	150	97	44	69	72	2700	160.867	135.917	296.783	658,52	469,63	1128,15
0,4	10	30	150	97	44	69	72	2700	160.867	135.917	296.783	658,52	469,63	1128,15
0,1	10	30	150	97	44	69	72	2700	160.867	135.917	296.783	658,52	469,63	1128,15

R	Panjang LPRJ	Kecepatan LPRJ	Waktu Siklus (detik)	waktu hijau 1 (detik)		waktu hijau 2 (detik)		periode lewat jenuh (detik)	total tundaan (detik)			rata-rata <i>throughput</i> (kend/jam)		
	meter	km/jam		1	2	1	2		1	2	total	1	2	total
0,95	15	30	150	100	40	46	94	2850	54.121	218.129	272.250	641,54	475,09	1116,63
0,9	15	30	150	102	38	50	90	2850	60.888	213.296	274.183	645,47	472,28	1117,75
0,85	15	30	150	102	38	54	86	2850	79.088	200.296	279.383	645,47	472,28	1117,75
0,75	15	30	150	97	43	60	80	2850	106.650	180.608	287.258	650,88	468,42	1119,30
0,65	15	30	150	101	39	64	76	2850	129.283	164.442	293.725	651,86	467,72	1119,58
0,5	15	30	150	102	38	68	72	2850	163.788	139.796	303.583	651,37	468,07	1119,44
0,4	15	30	150	102	38	68	72	2850	163.788	139.796	303.583	651,37	468,07	1119,44
0,1	15	30	150	102	38	68	72	2850	163.788	139.796	303.583	651,37	468,07	1119,44

lanjutan Tabel 3.14

R	Panjang LPRJ	Kecepatan LPRJ	Waktu Siklus	waktu hijau 1 (detik)		waktu hijau 2 (detik)		periode lewat jenuh detik	total tundaan (detik)			rata-rata <i>throughput</i> (kend/jam)		
	meter	km/jam	(detik)	1	2	1	2		1	2	total	1	2	total
0,95	25	30	150	100	38	46	92	2850	54.121	233.171	287.292	641,54	461,75	1103,30
0,9	25	30	150	100	38	51	87	2850	69.346	222.296	291.642	644,49	459,65	1104,14
0,85	25	30	150	97	41	53	85	2850	79.933	214.733	294.667	645,96	458,60	1104,56
0,75	25	30	150	98	40	59	79	2850	107.554	195.004	302.558	646,46	458,25	1104,70
0,65	25	30	150	100	38	63	75	2850	139.813	171.963	311.775	642,53	461,05	1103,58
0,5	25	30	150	92	46	68	70	2850	174.579	147.129	321.708	646,46	458,25	1104,70
0,4	25	30	150	92	46	68	70	2850	174.579	147.129	321.708	646,46	458,25	1104,70
0,1	25	30	150	92	46	68	70	2850	174.579	147.129	321.708	646,46	458,25	1104,70

R	Panjang LPRJ	Kecepatan LPRJ	Waktu Siklus	waktu hijau 1 (detik)		waktu hijau 2 (detik)		periode lewat jenuh detik	total tundaan (detik)			rata-rata <i>throughput</i> (kend/jam)		
	meter	km/jam	(detik)	1	2	1	2		1	2	total	1	2	total
0,95	50	30	150	94	38	45	87	3150	70.013	270.863	340.875	616,00	440,00	1056,00
0,9	50	30	150	94	38	49	83	3150	86.025	259.425	345.450	617,33	439,05	1056,38
0,85	50	30	150	91	41	51	81	3150	99.967	249.467	349.433	618,22	438,41	1056,63
0,75	50	30	150	91	41	56	76	3150	132.488	226.238	358.725	616,00	440,00	1056,00
0,65	50	30	150	85	47	60	72	3150	166.642	201.842	368.483	615,56	440,32	1055,87
0,5	50	30	150	77	55	64	68	3150	205.725	173.925	379.650	614,67	440,95	1055,62
0,4	50	30	150	91	41	65	67	3150	206.133	173.633	379.767	618,22	438,41	1056,63
0,1	50	30	150	91	41	65	67	3150	206.133	173.633	379.767	618,22	438,41	1056,63

R	Panjang LPRJ	Kecepatan LPRJ	Waktu Siklus	waktu hijau 1 (detik)		waktu hijau 2 (detik)		periode lewat jenuh detik	total tundaan (detik)			rata-rata <i>throughput</i> (kend/jam)		
	meter	km/jam	(detik)	1	2	1	2		1	2	total	1	2	total
0,95	75	25	150	82	40	42	80	3900	115.950	347.633	463.583	564,31	410,26	974,56
0,9	75	25	150	83	39	44	78	3900	123.504	342.238	465.742	564,67	410,00	974,67
0,85	75	25	150	82	40	47	75	3900	148.617	324.300	472.917	564,31	410,26	974,56
0,75	75	25	150	84	38	52	70	3900	184.783	298.467	483.250	565,74	409,23	974,97
0,65	75	25	150	84	38	55	67	3900	220.863	272.696	493.558	565,38	409,49	974,87
0,5	75	25	150	77	45	59	63	3900	263.592	242.175	505.767	570,05	406,15	976,21
0,4	75	25	150	84	38	60	62	3900	285.350	226.633	511.983	568,62	407,18	975,79
0,1	75	25	150	84	38	60	62	3900	285.350	226.633	511.983	568,62	407,18	975,79

Sumber : Hasil Perhitungan, 2009

Tabel 3.15. Hasil Simulasi Pada $S_w=20$ km/jam dan $c=240$ detik

R	Panjang LPRJ	Kecepatan LPRJ	Waktu Siklus	waktu hijau 1 (detik)		waktu hijau 2 (detik)		periode lewat jenuh	total tundaan (detik)			rata-rata <i>throughput</i> (kend/jam)		
	meter	km/jam	(detik)	1	2	1	2	detik	1	2	total	1,00	2,00	total
0,95	10	20	240	163	67	73	157	2640	41.369	201.127	242.496	664,47	483,71	1148,18
0,9	10	20	240	160	70	75	155	2640	49.909	195.027	244.936	662,88	484,85	1147,73
0,85	10	20	240	167	63	84	146	2640	57.376	189.693	247.069	666,06	482,58	1148,64
0,75	10	20	240	165	65	95	135	2640	87.943	167.860	255.803	665,53	482,95	1148,48
0,65	10	20	240	161	69	104	126	2640	116.923	147.160	264.083	667,12	481,82	1148,94
0,5	10	20	240	169	61	109	121	2640	136.289	133.327	269.616	667,65	481,44	1149,09
0,4	10	20	240	169	61	109	121	2640	136.289	133.327	269.616	667,65	481,44	1149,09
0,1	10	20	240	169	61	109	121	2640	136.289	133.327	269.616	667,65	481,44	1149,09

R	Panjang LPRJ	Kecepatan LPRJ	Waktu Siklus	waktu hijau 1 (detik)		waktu hijau 2 (detik)		periode lewat jenuh	total tundaan (detik)			rata-rata <i>throughput</i> (kend/jam)		
	meter	km/jam	(detik)	1	2	1	2	detik	1	2	total	1,00	2,00	total
0,95	15	20	240	163	65	73	155	2640	41.369	209.193	250.563	664,47	475,38	1139,85
0,9	15	20	240	160	68	75	153	2640	49.909	203.093	253.003	662,88	476,52	1139,39
0,85	15	20	240	167	61	84	144	2640	57.376	197.760	255.136	666,06	474,24	1140,30
0,75	15	20	240	165	63	95	133	2640	87.943	175.927	263.869	665,53	474,62	1140,15
0,65	15	20	240	160	68	104	124	2640	118.789	153.893	272.683	666,06	474,24	1140,30
0,5	15	20	240	166	62	109	119	2640	139.229	139.293	278.523	666,06	474,24	1140,30
0,4	15	20	240	166	62	109	119	2640	139.229	139.293	278.523	666,06	474,24	1140,30
0,1	15	20	240	166	62	109	119	2640	139.229	139.293	278.523	665,06	473,24	1138,30

lanjutan Tabel 3.15

R	Panjang LPRJ	Kecepatan LPRJ	Waktu Siklus (detik)	waktu hijau 1 (detik)		waktu hijau 2 (detik)		periode lewat jenuh (detik)	total tundaan (detik)			rata-rata <i>throughput</i> (kend/jam)		
	meter	km/jam		1	2	1	2		1	2	total	1,00	2,00	total
0,95	25	20	240	163	62	72	153	2880	42.895	218.591	261.485	641,18	479,51	1120,69
0,9	25	20	240	160	65	74	151	2880	51.621	212.357	263.979	640,69	479,86	1120,56
0,85	25	20	240	165	60	82	143	2880	69.261	199.757	269.019	639,72	480,56	1120,28
0,75	25	20	240	165	60	92	133	2880	97.308	179.724	277.032	643,13	478,13	1121,25
0,65	25	20	240	161	64	101	124	2880	128.248	157.624	285.872	647,50	475,00	1122,50
0,5	25	20	240	163	62	107	118	2880	151.021	141.357	292.379	651,39	472,22	1123,61
0,4	25	20	240	163	62	107	118	2880	151.021	141.357	292.379	651,39	472,22	1123,61
0,1	25	20	240	163	62	107	118	2880	151.021	141.357	292.379	651,39	472,22	1123,61

R	Panjang LPRJ	Kecepatan LPRJ	Waktu Siklus (detik)	waktu hijau 1 (detik)		waktu hijau 2 (detik)		periode lewat jenuh (detik)	total tundaan (detik)			rata-rata <i>throughput</i> (kend/jam)		
	meter	km/jam		1	2	1	2		1	2	total	1,00	2,00	total
0,95	50	20	240	150	66	68	148	3120	60.099	248.611	308.709	617,44	458,97	1076,41
0,9	50	20	240	156	60	75	141	3120	67.192	243.544	310.736	619,23	457,69	1076,92
0,85	50	20	240	151	65	78	138	3120	82.732	232.444	315.176	618,78	458,01	1076,79
0,75	50	20	240	147	69	88	128	3120	119.272	206.344	325.616	619,23	457,69	1076,92
0,65	50	20	240	143	73	95	121	3120	151.799	183.111	334.909	618,78	458,01	1076,79
0,5	50	20	240	156	60	103	113	3120	181.432	161.944	343.376	624,62	453,85	1078,46
0,4	50	20	240	156	60	103	113	3120	181.432	161.944	343.376	624,62	453,85	1078,46
0,1	50	20	240	156	60	103	113	3120	181.432	161.944	343.376	624,62	453,85	1078,46

R	Panjang LPRJ	Kecepatan LPRJ	Waktu Siklus (detik)	waktu hijau 1 (detik)		waktu hijau 2 (detik)		periode lewat jenuh (detik)	total tundaan (detik)			rata-rata <i>throughput</i> (kend/jam)		
	meter	km/jam		1	2	1	2		1	2	total	1,00	2,00	total
0,95	75	20	240	147	60	70	137	3360	72.117	291.629	363.747	600,83	433,33	1034,17
0,9	75	20	240	147	60	70	137	3360	72.117	291.629	363.747	600,83	433,33	1034,17
0,85	75	20	240	147	60	78	129	3360	102.964	269.596	372.560	598,75	434,82	1033,57
0,75	75	20	240	146	61	86	121	3360	131.291	249.363	380.653	601,67	432,74	1034,40
0,65	75	20	240	143	64	92	115	3360	166.711	224.063	390.773	600,42	433,63	1034,05
0,5	75	20	240	147	60	100	107	3360	212.817	191.129	403.947	602,92	431,85	1034,76
0,4	75	20	240	147	60	100	107	3360	212.817	191.129	403.947	602,92	431,85	1034,76
0,1	75	20	240	147	60	100	107	3360	212.817	191.129	403.947	602,92	431,85	1034,76

Sumber : Hasil Perhitungan, 2009

Tabel 3.16. Hasil Simulasi Pada $S_w=30$ km/jam dan $c=240$ detik

R	Panjang LPRJ	Kecepatan LPRJ	Waktu Siklu (detik)	waktu hijau 1 (detik)		waktu hijau 2 (detik)		periode lewat jenuh (detik)	total tundaan (detik)			rata-rata <i>throughput</i> (kend/jam)		
	meter	km/jam		1	2	1	2		1	2	total	1,00	2,00	total
0,95	10	30	240	163	68	73	158	2640	41.369	197.093	238.463	664,47	487,88	1152,35
0,9	10	30	240	160	71	75	156	2640	49.909	190.993	240.903	662,88	489,02	1151,89
0,85	10	30	240	167	64	84	147	2640	57.376	185.660	243.036	666,06	486,74	1152,80
0,75	10	30	240	165	66	95	136	2640	87.943	163.827	251.769	665,53	487,12	1152,65
0,65	10	30	240	161	69	104	126	2640	116.923	147.160	264.083	667,12	481,82	1148,94
0,5	10	30	240	169	61	109	121	2640	136.289	133.327	269.616	667,65	481,44	1149,09
0,4	10	30	240	169	61	109	121	2640	136.289	133.327	269.616	667,65	481,44	1149,09
0,1	10	30	240	169	61	109	121	2640	136.289	133.327	269.616	667,65	481,44	1149,09

R	Panjang LPRJ	Kecepatan LPRJ	Waktu Siklu (detik)	waktu hijau 1 (detik)		waktu hijau 2 (detik)		periode lewat jenuh (detik)	total tundaan (detik)			rata-rata <i>throughput</i> (kend/jam)		
	meter	km/jam		1	2	1	2		1	2	total	1,00	2,00	total
0,95	15	30	240	163	67	73	157	2640	41.369	201.127	242.496	664,47	483,71	1148,18
0,9	15	30	240	160	70	75	155	2640	49.909	195.027	244.936	662,88	484,85	1147,73
0,85	15	30	240	167	63	84	146	2640	57.376	189.693	247.069	666,06	482,58	1148,64
0,75	15	30	240	165	65	95	135	2640	87.943	167.860	255.803	665,53	482,95	1148,48
0,65	15	30	240	161	69	104	126	2640	116.923	147.160	264.083	667,12	481,82	1148,94
0,5	15	30	240	169	61	109	121	2640	136.289	133.327	269.616	667,65	481,44	1149,09
0,4	15	30	240	169	61	109	121	2640	136.289	133.327	269.616	667,65	481,44	1149,09
0,1	15	30	240	169	61	109	121	2640	136.289	133.327	269.616	667,65	481,44	1149,09

lanjutan Tabel 3.16

R	Panjang LPRJ	Kecepatan LPRJ	Waktu Siklus (detik)	waktu hijau 1 (detik)		waktu hijau 2 (detik)		periode lewat jenuh (detik)	total tundaan (detik)			rata-rata <i>throughput</i> (kend/jam)		
	meter	km/jam		1	2	1	2		1	2	total	1,00	2,00	total
0,95	10	30	240	163	68	73	158	2640	41.369	197.093	238.463	664,47	487,88	1152,35
0,9	10	30	240	160	71	75	156	2640	49.909	190.993	240.903	662,88	489,02	1151,89
0,85	10	30	240	167	64	84	147	2640	57.376	185.660	243.036	666,06	486,74	1152,80
0,75	10	30	240	165	66	95	136	2640	87.943	163.827	251.769	665,53	487,12	1152,65
0,65	10	30	240	161	69	104	126	2640	116.923	147.160	264.083	667,12	481,82	1148,94
0,5	10	30	240	169	61	109	121	2640	136.289	133.327	269.616	667,65	481,44	1149,09
0,4	10	30	240	169	61	109	121	2640	136.289	133.327	269.616	667,65	481,44	1149,09
0,1	10	30	240	169	61	109	121	2640	136.289	133.327	269.616	667,65	481,44	1149,09

R	Panjang LPRJ	Kecepatan LPRJ	Waktu Siklus (detik)	waktu hijau 1 (detik)		waktu hijau 2 (detik)		periode lewat jenuh (detik)	total tundaan (detik)			rata-rata <i>throughput</i> (kend/jam)		
	meter	km/jam		1	2	1	2		1	2	total	1,00	2,00	total
0,95	15	30	240	163	67	73	157	2640	41.369	201.127	242.496	664,47	483,71	1148,18
0,9	15	30	240	160	70	75	155	2640	49.909	195.027	244.936	662,88	484,85	1147,73
0,85	15	30	240	167	63	84	146	2640	57.376	189.693	247.069	666,06	482,58	1148,64
0,75	15	30	240	165	65	95	135	2640	87.943	167.860	255.803	665,53	482,95	1148,48
0,65	15	30	240	161	69	104	126	2640	116.923	147.160	264.083	667,12	481,82	1148,94
0,5	15	30	240	169	61	109	121	2640	136.289	133.327	269.616	667,65	481,44	1149,09
0,4	15	30	240	169	61	109	121	2640	136.289	133.327	269.616	667,65	481,44	1149,09
0,1	15	30	240	169	61	109	121	2640	136.289	133.327	269.616	667,65	481,44	1149,09

R	Panjang LPRJ	Kecepatan LPRJ	Waktu Siklus (detik)	waktu hijau 1 (detik)		waktu hijau 2 (detik)		periode lewat jenuh (detik)	total tundaan (detik)			rata-rata <i>throughput</i> (kend/jam)		
	meter	km/jam		1	2	1	2		1	2	total	1,00	2,00	total
0,95	25	30	240	163	65	73	155	2640	41.369	209.193	250.563	664,47	475,38	1139,85
0,9	25	30	240	160	68	75	153	2640	49.909	203.093	253.003	662,88	476,52	1139,39
0,85	25	30	240	167	61	84	144	2640	57.376	197.760	255.136	666,06	474,24	1140,30
0,75	25	30	240	165	63	95	133	2640	87.943	175.927	263.869	665,53	474,62	1140,15
0,65	25	30	240	160	68	104	124	2640	118.789	153.893	272.683	666,06	474,24	1140,30
0,5	25	30	240	166	62	109	119	2640	139.229	139.293	278.523	666,06	474,24	1140,30
0,4	25	30	240	166	62	109	119	2640	139.229	139.293	278.523	666,06	474,24	1140,30
0,1	25	30	240	166	62	109	119	2640	139.229	139.293	278.523	666,06	474,24	1140,30

Sumber : Hasil Perhitungan, 2009

3.3. Metodologi Penelitian

3.3.1. Bagan Alir

Metodologi penelitian ditetapkan berdasarkan kesimpulan yang didapat dari proses pemilihan metode optimasi, yaitu:

- pemilihan waktu hijau optimal berdasarkan kinerja tundaan total minimum
- titik perubahan (*switch over point*) terjadi pada $R \geq 0,95$

Bagan alir metodologi penelitian dalam menentukan waktu hijau optimal kontrol lalu lintas LPRJ pada kondisi arus lalu lintas lewat jenuh disajikan pada Gambar 3.15.

3.3.2. Algoritma

Algoritma untuk menentukan waktu hijau optimal dan kinerja yang dihasilkan dalam perencanaan kontrol lalu lintas bersinyal di LPRJ tipe jalan dua lajur dua arah tak terbagi pada kondisi arus lalu lintas lewat jenuh terdiri atas tujuh tahap (step) sebagai berikut,

Step 1

Masukan data akumulasi kedatangan;

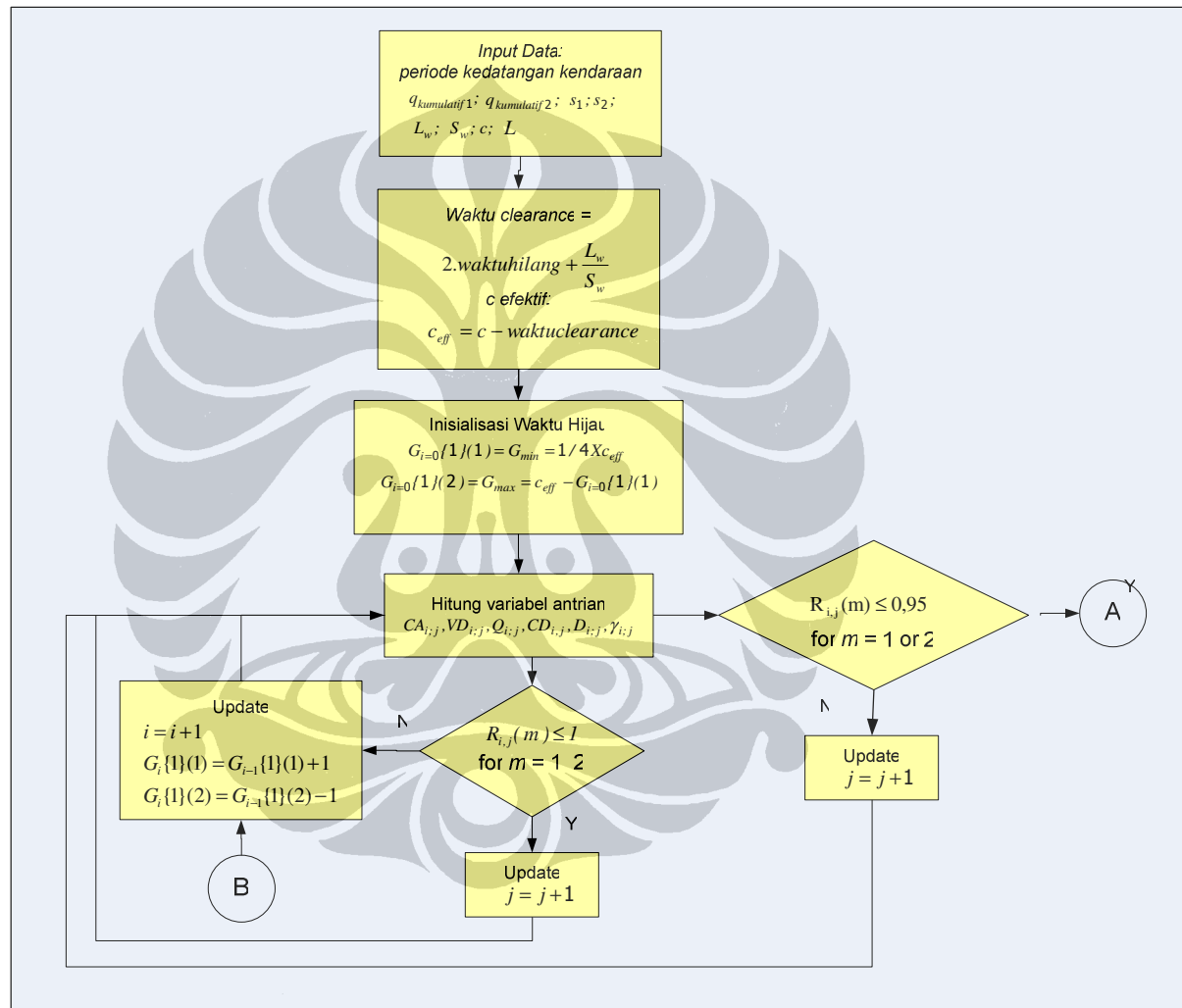
a. $q_{kumulatif1}$ = Data akumulasi arus kedatangan per periode waktu pada pendekat 1 (smp)

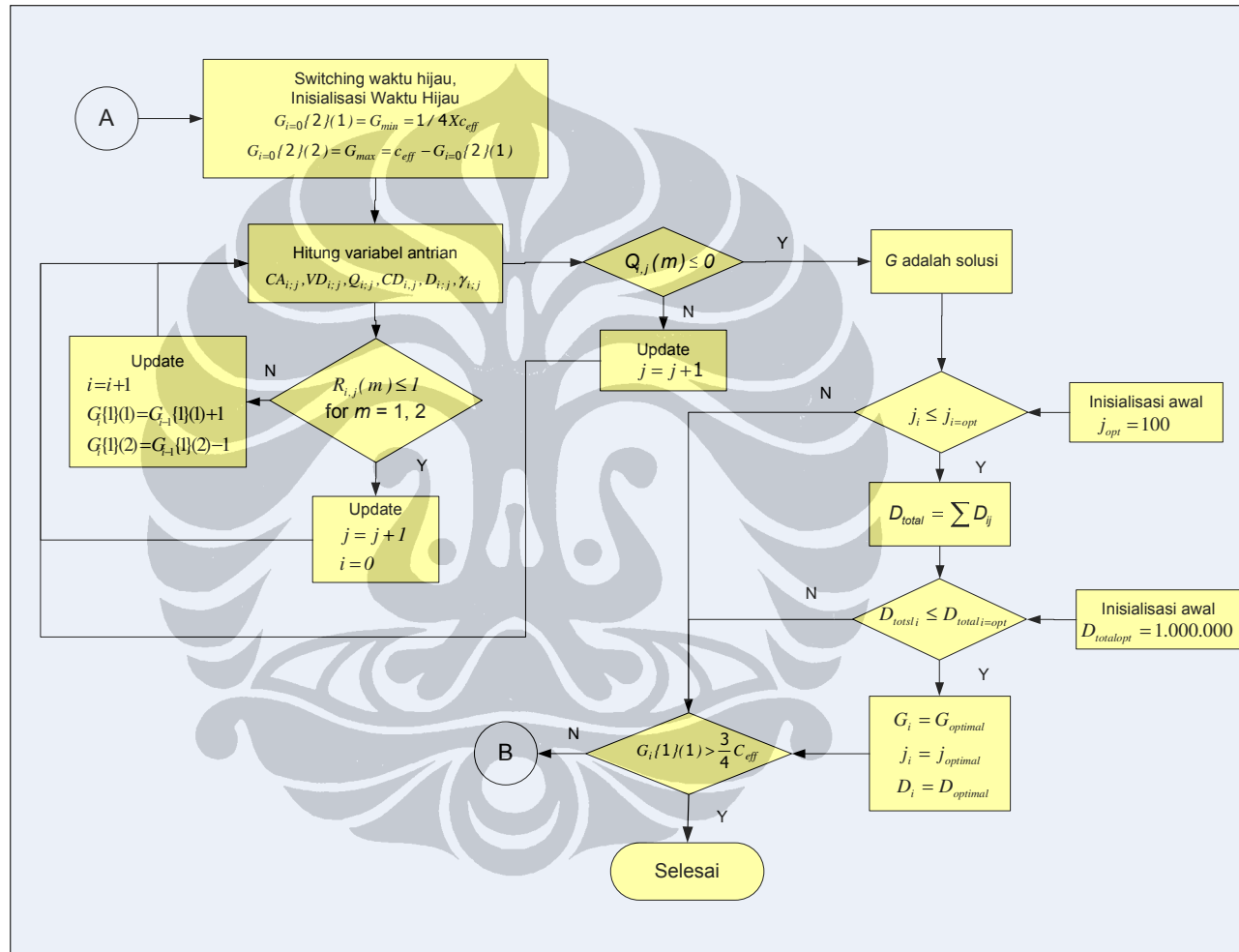
$q_{kumulatif2}$ = Data akumulasi arus kedatangan per periode waktu pada pendekat 2 (smp).

Input data akumulasi arus kedatangan diberikan per periode waktu pengamatan yang dilakukan oleh detektor.

b. t_p = periode waktu input arus kedatangan (detik)

c. $w_{1,2}$ = lebar pendekat 1 dan 2 (meter)





Gambar 3.15. Metodologi Pendekatan

d. s = arus jenuh pendekat 1 dan 2

Arus jenuh merupakan input data. Perhitungan arus jenuh dari berbagai negara dan manual disajikan pada Tabel 3.17

Tabel 3.17. Metode Penentuan Arus Jenuh

Manual	Arus Jenuh Dasar (smp/jam hijau/lajur)	Keterangan
Amerika Serikat (US HCM, 2000)	1900	Untuk lebar ideal 3,66 meter. Faktor penyesuaian untuk lebar lajur adalah : $f_w = 1 + \frac{w-12}{30}$, w dalam feet.
Australia Road Research Board (ARRB, 1989)	1850	Tergantung kondisi lingkungan dan tipe lajur. Angka ini untuk kelas lingkungan A dan tipe lajur 1 (arus bebas, jarak pandang baik, sangat sedikit pejalan kaki, hampir tidak ada kendaraan barang dan aktivitas parkir dan lajur hanya untuk arus lalu lintas menerus)
Inggris (TRRL, 1986)	2080	Lajur tengah, untuk rata-rata lebar lajur 3,2 meter
	1940	Lajur tepi, untuk rata-rata lebar lajur 3,2 meter
Webster & Cobbe (1966)	525 x w	Untuk lebar lajur $\geq 5,5$ meter
Manual Kapasitas Jalan Indonesia (1997)	600 x w	Untuk tipe terlindung, w dalam meter
Malaysia (Leong Lee Vien et al, 2005)	527 x w	pada cuaca cerah dan gradien rata, w dalam meter.

Asumsi arus jenuh yang digunakan untuk simulasi dalam penelitian adalah menggunakan angka arus jenuh berdasarkan Webster & Cobbe (1966), sebagai berikut:

w (m)	3,00	3,25	3,50	3,75	4,00	4,25	4,50	4,75	5,00	5,25
s (smp/jam)	1845	1860	1885	1915	1965	2075	2210	2375	2560	2760

Faktor penyesuaian yang digunakan untuk arus jenuh sesungguhnya digunakan angka 0,9, sehingga arus jenuh sesungguhnya adalah sebesar 0,9 s . Asumsi arus jenuh sesungguhnya yang digunakan pada simulasi penelitian disajikan pada Tabel 3.18.

Tabel 3.18. Asumsi Arus Jenuh Sesungguhnya Berdasarkan Lebar lajur

w	s dasar	s sesungguhnya
meter	smp/jam	smp/jam
3	1845	1661
3,25	1860	1674
3,5	1885	1697
3,75	1915	1724
4	1965	1769
4,25	2075	1868
4,5	2210	1989
4,75	2375	2138
5	2560	2304
5,25	2760	2484

e. c = waktu siklus (detik)

Pada penelitian disimulasikan waktu siklus 120 detik, 150 detik, 180 detik dan 240 detik. Simulasi waktu siklus maksimal ditetapkan sebesar 240 detik berdasarkan pertimbangan dari studi Daniels G et al (2000).

Step 2

Menentukan inisialisasi awal waktu hijau.

$$\text{Waktu clearance} = 2 \cdot \left(\text{waktuhilang} + \frac{L_w}{S_w} \right)$$

Waktu hilang diasumsikan sebesar 3 detik/fase.

$$c_{eff} = c - \text{waktuclearance}$$

$$G_{i=0}\{1\}(1) = 1/4 \times c_{eff}$$

$$G_{i=0}\{1\}(2) = c_{eff} - G_{i=0}\{1\}(1)$$

Step 3

Menghitung variabel-variabel antrian:

m = Fase lampu hijau

$CA_{i,j}$ = Akumulasi kendaraan yang datang pada percobaan waktu hijau ke- i dan iterasi ke- j .

$VD_{i,j}$ = Kendaraan yang dialirkan saat waktu hijau ke- i iterasi ke- j .

$$= \frac{S_m}{3600} \times G_i\{1\}(m) \quad , m=1, 2$$

$Q_{i,j}$ = Panjang antrian saat waktu hijau ke- i iterasi ke- j

$$= CA_{i,j} - CA_{i,j-1} + Q_{i,j-1} - VD_{i,j}$$

Ketika $j = 0$, maka

$$Q_{i,j=0} = CA_{i,j=0} - VD_{i,j=0}$$

$CD_{i,j}$ = Akumulasi kendaraan yang dilepas pada percobaan waktu hijau ke- i dan iterasi ke- j .

$R_{i,j}(m)$ = ratio akumulasi kendaraan yang dilepas terhadap akumulasi kendaraan yang datang

$$= \frac{CD_{i,j}}{CA_{i,j}}$$

D_{ij} = tundaan total kendaraan pada waktu hijau ke- i iterasi ke- j (smp)

$D_{ij} = Q_{ij} \cdot c / 2$ (khusus pada waktu hijau ke satu (sebelum switch) dan iterasi ke satu.)

$D_{ij} = (Q_{ij} + Q_{ij-1}) / 2 \cdot c$ (untuk iterasi berikutnya)

$$D_{total} = \sum D_{ij}$$

γ_{ij} = tingkat pelepasan (*throughput*) kendaraan pada waktu hijau ke- i iterasi ke- j (smp/jam)

$$\gamma_{ij} = VD_{ij} \cdot 3600 / c$$

$$\gamma_{rata-rata_i} = \frac{1}{j} \sum VD_{ij} \cdot 3600 / c$$

$$\gamma_{rata-rata_{total}} = \gamma_{rata-rata1} + \gamma_{rata-rata2}$$

Step 4

Jika $R_{i,j-1}(m) \leq 1$, untuk $m=1,2$, $j = j+1$ dan update nilai-nilai $CA_{i,j}$, $Q_{i,j}$, $VD_{i,j}$, $CD_{i,j}$,

Selain itu update $i = i+1$ dan update waktu hijau sebagai berikut:

$$G_i\{1\}(1) = G_{i-1}\{1\}(1) + 1$$

$$G_i\{1\}(2) = G_{i-1}\{1\}(2) - 1$$

dan ulang kembali ke step 3.