



UNIVERSITAS INDONESIA

**KONTROL LALU LINTAS BERSINYAL
DI LOKASI PENYEMPITAN RUAS JALAN
PADA KONDISI ARUS LALU LINTAS LEWAT JENUH**

DISERTASI

Diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar
Doktor dalam bidang Ilmu Teknik

**ENDANG WIDJAJANTI
84 03 01 0019**

**FAKULTAS TEKNIK
PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
PROGRAM PASCASARJANA BIDANG ILMU TEKNIK
BIDANG KEKHUSUSAN TRANSPORTASI**

JULI 2009

HALAMAN PENGESAHAN

Disertasi ini diajukan oleh :

Nama : Endang Widjajanti
NPM : 84 03 01 0019
Program Studi : Teknik Sipil – Kekhususan Transportasi
Judul Disertasi : Kontrol Lalu Lintas Bersinyal di Lokasi Penyempitan Ruas Jalan pada Kondisi Arus Lalu Lintas Lewat Jenuh

Telah berhasil dipertahankan di hadapan Dewan Penguji dan diterima sebagai bagian persyaratan yang diperlukan untuk memperoleh gelar Doktor pada Program Studi Teknik Sipil – Kekhususan Transportasi, Fakultas Teknik, Universitas Indonesia.

DEWAN PENGUJI :

Ketua Sidang : Prof. Dr.Ir. Irwan Katili, DEA



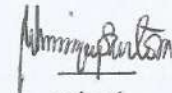
Promotor : Prof. Dr. Ir. Sutanto Suhodho



Ko Promotor : Ir. Tri Tjahjono, MSc Ph D



Anggota : Prof. Wimpy Santosa, Ph D



Dr. Ir. Bambang Rijanto



Ir. Ade Sjafruddin, Ph.D



Dr. Ir. Sigit Pranowo Hadiwardoyo, DEA



Ir. Jachrizal Sumabrata, Ph D

Ditetapkan di : Depok
Tanggal : 17 Juli 2009

KATA PENGANTAR

Puji syukur kehadiran Tuhan Allah yang penuh kasih yang telah melimpahkan penyertaan dan berkat-Nya, sehingga Disertasi ini dapat diselesaikan. Penulisan Disertasi ini dilakukan dalam rangka memenuhi salah satu syarat untuk mencapai gelar Doktor dalam bidang Ilmu Teknik pada Fakultas Teknik Universitas Indonesia. Selesainya Disertasi ini tidak terlepas dari bantuan dari berbagai pihak yang telah memberikan sumbang saran, pendapat, arahan serta bimbingan. Untuk itu kami menyampaikan ucapan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Bapak Prof. Dr. Ir. Sutanto Soehodho, M.Eng. selaku Promotor atas semua perhatian, bimbingan, saran dan arahnya.
2. Bapak Ir. Tri Tjahjono, MSc, PhD. selaku Ko-Promotor atas semua perhatian, bimbingan, saran dan arahnya.
3. Seluruh Dewan Penguji atas arahan dan bimbingannya pada saat sidang Pra Promosi dan saran perbaikan sampai sidang Promosi
4. Seluruh Dosen dan Staf Sekretariat Program Pascasarjana Bidang Ilmu Teknik, Departemen Sipil Fakultas Teknik Universitas Indonesia atas bantuannya kepada penulis selama masa studi.
5. Suami dan anak-anak atas dorongan serta doa yang telah diberikan selama penulis menyelesaikan studi ini.
6. Rekan-rekan yang telah membantu dalam proses penelitian dan semua pihak yang mungkin belum disebutkan satu persatu.

Kiranya Tuhan Allah yang penuh kasih berkenan membalas segala kebaikan semua pihak yang telah membantu. Semoga Disertasi ini membawa manfaat bagi pengembangan ilmu.

Depok, Juli 2009

Penulis.

**HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI
TUGAS AKHIR UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS**

Sebagai sivitas akademik Universitas Indonesia, saya yang bertanda tangan dibawah ini :

Nama : Endang Widjajanti
NPM : 84 03 01 0019
Program Studi : Teknik Sipil - Kekhususan Transportasi
Departemen : Teknik Sipil
Fakultas : Teknik
Jenis Karya : Disertasi

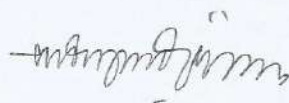
Demi pengembangan ilmu pengetahuan, menyetujui untuk memberikan kepada Universitas Indonesia **Hak Bebas Royalti Noneksklusif (*Non-exclusive Royalty-Free Right*)** atas karya ilmiah saya yang berjudul:

**Kontrol Lalu Lintas Bersinyal
di Lokasi Penyempitan Ruas Jalan
pada Kondisi Arus Lalu Lintas Lewat Jenuh**

beserta perangkat yang ada (jika diperlukan). Dengan Hak Bebas Royalti Non-eksklusif ini Universitas Indonesia berhak menyimpan, mengalihmedia/formatkan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (database), merawat, dan mempublikasikan tugas akhir saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta dan sebagai pemilik Hak Cipta.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Dibuat di Depok
Pada tanggal 17 Juli 2009
Yang menyatakan



Endang Widjajanti

ABSTRAK

Nama : Endang Widjajanti
NPM : 84 03 01 0019
Program Studi : Teknik Sipil-Kekhususan Transportasi
Judul Disertasi : Kontrol Lalu Lintas Bersinyal di Lokasi Penyempitan Ruas Jalan pada Kondisi Arus Lalu Lintas Lewat Jenuh

Penutupan lajur jalan pada ruas jalan dengan tipe dua lajur dua arah tak terbagi (2/2 UD) memerlukan penanganan untuk mengoptimalkan kapasitas pada lokasi yang mengalami penyempitan. Permasalahan lalu lintas pada lokasi penyempitan ruas jalan (LPRJ) akan semakin kompleks apabila arus lalu lintas yang melintasi lokasi sudah mencapai kondisi lewat jenuh.

Tujuan penelitian adalah untuk merumuskan strategi kontrol lalu lintas bersinyal di jalan dua lajur dua arah tak terbagi yang mengalami penyempitan karena adanya LPRJ pada kondisi arus lalu lintas lewat jenuh.

Untuk menyelesaikan antrian kendaraan akibat arus lewat jenuh pada waktu yang sama di kedua pendekat, dikembangkan metode kontrol lalu lintas bersinyal dengan perubahan waktu hijau pada siklus tertentu, yaitu dengan menggunakan parameter titik perubahan rasio akumulasi kendaraan yang dilepas terhadap akumulasi kendaraan yang datang (R). Hasil penelitian menunjukkan bahwa waktu hijau optimal terjadi apabila salah satu pendekat telah mencapai $R \geq 0,95$. Dengan data arus kedatangan kendaraan yang sama, metode penelitian memberikan perbaikan kinerja bila dibandingkan dengan metode yang telah dikembangkan sebelumnya yaitu model Tundaan Diskrit Minimum (Chang & Lin, 2000) dan model *Maximum Throughput* (Talmor & Mahalel, 2007).

Simulasi kontrol lalu lintas bersinyal di LPRJ dengan tipe 2/2 UD dilakukan dengan asumsi arus kedatangan lewat jenuh terjadi pada 300 detik pertama. Hasil simulasi menunjukkan bahwa periode pengamatan kedatangan kendaraan optimum adalah sebesar 240 detik dan waktu siklus optimum sebesar 240 detik. Dari hasil simulasi juga dapat diketahui besaran peningkatan tundaan total akibat perubahan periode pengamatan kedatangan kendaraan dari 240 detik ke periode pengamatan kedatangan kendaraan yang lebih kecil serta penurunan *throughput* rata-rata dan peningkatan periode arus jenuh akibat perubahan waktu siklus dari 240 detik ke waktu siklus yang lebih pendek. Penelitian juga memberikan hasil panjang LPRJ yang dapat diakomodasi oleh kontrol lalu lintas bersinyal pada kondisi arus lewat jenuh berdasarkan besaran derajat kejenuhan total (DS) dan kecepatan rata-rata pada LPRJ (Sw) serta nomogram yang dapat dipergunakan untuk memperkirakan kinerja kontrol lalu lintas bersinyal di LPRJ tipe jalan 2/2 UD pada kondisi arus lewat jenuh.

Untuk mempertajam keakurasian hasil agar sesuai dengan kondisi lapangan, diperlukan penelitian lanjut yang terkait dengan penetapan nilai ekivalensi mobil penumpang dan besaran arus jenuh yang sesuai dengan berbagai kondisi lalu lintas di Indonesia. Selain itu juga perlu dilakukan penelitian lanjut untuk arus kedatangan yang bervariasi dan kecepatan pada LPRJ < 20 km/jam.

Kata kunci : kontrol lalu lintas, penyempitan ruas jalan, arus lewat jenuh,

ABSTRACT

Name : Endang Widjajanti
NPM : 84 03 01 0019
Study Program : Civil-Transportation
Title : Signalized Traffic Control on Oversaturated Road Closure Areas

Road activities usually require the closure of one of the two ways two lane roads (2/2 UD) constitute the restrictive bottleneck of the road system, which need a special effort to maximize the capacity of bottleneck areas, especially on over saturation traffic condition

The objective of the study is to develop a signal-control strategy and its application for road closure area on two way two lanes roads which is treated as an isolated intersection during severe over saturation.

To disperse the queues of the two approaches in the same time, the study developed a new method by introducing a ratio between cumulative departure and cumulative arrival (R). The study showed that switch over of green time was effectively dispersed all the vehicles of the two approaches in the same cycle. The result of the study indicates that optimal green time happened if one of the approach has reached $R > 0.95$. With the same arrival and saturation flow data, the method introducing in this study has a better performance results comparing amongst the previous methods, i.e. the Discrete Minimal Delay Model and the Maximum Throughput Model.

The study conducted a signalized control simulation on road closure areas on two way two lane roads with the assumption that the road severe over saturation on the first 300 seconds which indicates that various arrival detection has a different total delay but has the same average throughput and over saturation period. The simulation results show that the optimum arrival detection period is 240 seconds and the optimum cycle time is 240 seconds.

The study give indication of the percentage of increasing total delay if there is a change of vehicle arrival detection period from 240 seconds to less than 240 seconds (i.e. 120 seconds and 180 seconds). The study also indicates the percentage of increasing total delay, decreasing of average throughput and decreasing of over saturation period if there is a change of cycle time from 240 seconds to less than 240 seconds (i.e. 120 seconds, 150 seconds, 180 seconds and 210 seconds). The study also indicates the maximum work zone length that can be accommodated by signalized traffic control in over saturation traffic condition based on total Degree of Saturation (DS), average speed on lane closure area (S_w) and nomogram that can be used to predict signalized traffic control performance on oversaturated road closure areas (total delay and average throughput).

In order to get more accurate results, it is necessary to study the value of passenger car equivalents and saturation flow that figure the actual traffic condition corresponds with various traffic conditions in Indonesia. It also needs to do the simulation with various arrival patterns and at average road closure area's speed less than 20 kph.

Key words: signalized traffic control, road closure areas, oversaturated.

DAFTAR ISI

PERNYATAAN ORISINALITAS	i
KATA PENGANTAR	ii
PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI KARYA ILMIAH	iii
ABSTRAK	iv
DAFTAR ISI	vi
DAFTAR GAMBAR	ix
DAFTAR TABEL	xiv
DAFTAR SINGKATAN	xviii
DAFTAR SIMBOL DAN RUMUS	xix
DAFTAR LAMPIRAN	xxvii
BAB I PENDAHULUAN	
1.1 Permasalahan Penelitian	1
1.1.1 Latar Belakang	1
1.1.2 Identifikasi Masalah	2
1.1.3 Perumusan Masalah Penelitian	3
1.2 Lingkup Penelitian	3
1.2.1 Tujuan Penelitian	3
1.2.2 Batasan Penelitian	4
1.2.3 Manfaat Penelitian	4
1.3 Metodologi Penulisan	5
BAB II KONTROL LALU LINTAS DENGAN APILL DI LPRJ PADA KONDISI ARUS LEWAT JENUH	
2.1 Lokasi Penyempitan Ruas Jalan (LPRJ)	7
2.2 Pemilihan Kontrol Lalu Lintas pada LPRJ	11
2.3 Kontrol Lalu Lintas Bersinyal pada LPRJ	13
2.3.1 Jenis Kontrol Lalu lintas Bersinyal Pada LPRJ	13
2.3.2 Komponen Waktu Siklus	16

2.4	Perencanaan Kontrol Lalu Lintas Pada Kondisi Arus lalu Lintas Lewat Jenuh	20
2.4.1	Model Optimasi Diskrit Dinamis	26
2.4.2	Metode Memaksimumkan Rata-rata Tingkat Pelepasan Kendaraan/ <i>Average Throughput</i>	29
2.4.3	Kajian Perbandingan Model Dan Arahkan Metode Penelitian	32
BAB III	METODOLOGI PENDEKATAN	
3.1	Konsep Analisis	40
3.1.1	Fungsi Kedatangan dan Pelayananan Kontrol Lalu Lintas Bersinyal Pada Kondisi Arus Lalu Lintas Lewat Jenuh	40
3.1.2	Pengembangan Metode Optimasi	43
3.1.3	Penerapan Kontrol Lalu Lintas Bersinyal Pada LPRJ	49
3.2	Pemilihan Metode Penelitian	50
3.2.1	Penentuan Metode Optimasi dan Nilai R	50
3.2.2	Perbandingan Dengan Model Tundaan Diskrit Minimum dan Model <i>Maximum Troughput</i>	57
3.2.3	Penerapan pada LPRJ Dengan Variasi Nilai R	62
3.3	Metodologi Penelitian	80
3.3.1	Bagan Alir	80
3.3.2	Algoritma	80
BAB IV	HASIL PENELITIAN	
4.1	Skenario Simulasi	88
4.1.1	Arus Jenuh	88
4.1.2	Skenario Kedatangan Kendaraan	90
4.1.3	Skenario Simulasi	94
4.2	Hasil Simulasi	95
4.2.1	Simulasi Dengan Derajat Kejenuhan Total (DS) Pada LPRJ 1,44	95

4.2.2	Simulasi Dengan Derajat Kejenuhan Total (DS) Pada LPRJ 1,86	111
4.2.3	Simulasi Dengan Derajat Kejenuhan Total (DS) Pada LPRJ 2,26	126
4.2.4	Simulasi Dengan Derajat Kejenuhan Total (DS) Pada LPRJ 2,76	140
4.2.5	Proporsi Arus Kedatangan Kendaraan	153
BAB V	PEMBAHASAN PENELITIAN	
5.1	Periode Pengamatan Kedatangan Kendaraan Optimal	160
5.1.1.	Perbandingan Kinerja Antar Periode Pengamatan Kedatangan Kendaraan	160
5.1.2.	Hubungan Periode Pengamatan Dengan Lokasi Detektor	161
5.2	Waktu Siklus Optimal	164
5.3.	Model Matematis Kinerja Kontrol Lalu Lintas Bersinyal pada LPRJ	173
5.3.1.	Hubungan Tundaan Total Dengan Panjang LPRJ	173
5.3.2.	Hubungan <i>Throughput</i> Rata-Rata Dengan Panjang LPRJ	175
5.3.3	Periode Lewat Jenuh Dengan Panjang LPRJ	178
BAB VI	KESIMPULAN DAN SARAN PENELITIAN	
6.1.	Kesimpulan	179
6.2.	Saran Penelitian	181
	DAFTAR PUSTAKA	184
	LAMPIRAN	189

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1.	Tata Letak Zona Kerja	8
Gambar 2.2.	Zona Kerja	10
Gambar 2.3.	Taper Pada Lalu Lintas Satu Lajur Dua Arah	11
Gambar 2.4.	Instalasi APILL Pada Zona Kerja	16
Gambar 2.5.	Komponen Waktu Siklus Kontrol Lalu Lintas Bersinyal Pada Zona Kerja	16
Gambar 2.6.	Pengaruh kecepatan dan Panjang Zona Kerja Terhadap Waktu Tunggu	17
Gambar 2.7.	Tundaan Total Selama Periode Lewat Jenuh	22
Gambar 2.8.	Kontrol Optimal Persimpangan Tunggal 2 Pergerakan Dengan Arus Jenuh Berbeda	24
Gambar 2.9.	Penentuan Akhir Periode Lewat Jenuh Dengan Asumsi Kurva Kumulatif Kedatangan Asimtotis Linier	25
Gambar 2.10.	Persimpangan Empat Kaki Dengan Kontrol Sinyal 2 Fase	27
Gambar 2.11.	Antrian dan Tundaan Pada Persimpangan Empat Kaki Dengan Kontrol Sinyal 2 Fase	27
Gambar 2.12.	Fungsi <i>adf</i> (<i>applied discharge flow</i>)	30
Gambar 3.1.	Persimpangan dengan Dua Pergerakan dan Kontrol Sinyal Dua Fase	40
Gambar 3.2.	Kurva Persamaan Kedatangan Kendaraan Dan Pelayanan Kontrol Lalu Lintas Bersinyal Pada Periode Lewat Jenuh	41
Gambar 3.3a.	Pelayanan Kontrol Lalu Lintas Bersinyal Dengan Waktu Hijau Tunggal Yang Tidak Menyelesaikan Antrian Pada Kedua Pendekat Secara Bersamaan	44
Gambar 3.3b.	Pelayanan Kontrol Lalu Lintas Bersinyal Dengan Waktu Hijau Dua Tahap Yang Menyelesaikan Antrian Pada Kedua Pendekat Secara Bersamaan	44
Gambar 3.4.	Bagan Alir Penentuan Metode Optimasi Penelitian	48

Gambar 3.5.	Arah Pergerakan Lalu Lintas Pada LPRJ	49
Gambar 3.6.	Komponen Waktu Siklus Kontrol Lalu Lintas Bersinyal Pada LPRJ	50
Gambar 3.7.	Panjang LPRJ	50
Gambar 3.8.	Contoh Kombinasi Waktu Hijau Pada Pendekat 1 dan Pendekat 2 Yang Memenuhi Persyaratan Penyelesaian Antrian Pada Waktu Yang Sama	53
Gambar 3.9.	Tundaan Total Untuk Berbagai Nilai R	56
Gambar 3.10.	<i>Throughput</i> Rata-Rata Untuk Berbagai Nilai R	57
Gambar 3.11.	Tundaan Total Dan <i>Throughput</i> Rata-Rata pada $c=150$ detik dan $Sw=20$ km/jam	63
Gambar 3.12.	Tundaan Total Dan <i>Throughput</i> Rata-Rata pada $c=150$ detik dan $Sw=30$ km/jam	64
Gambar 3.13.	Tundaan Total Dan <i>Throughput</i> Rata-Rata pada $c=240$ detik dan $Sw=20$ km/jam	65
Gambar 3.14.	Tundaan Total Dan <i>Throughput</i> Rata-Rata pada $c=240$ detik dan $Sw=30$ km/jam	66
Gambar 3.15.	Metodologi Pendekatan	82
Gambar 4.1.	Kinerja Kontrol Lalu Lintas Bersinyal Pada LPRJ $DS=1,44$ dan $Sw=20$ km/jam Terhadap Periode Pengamatan dan Waktu Siklus	102
Gambar 4.2.	Kinerja Kontrol Lalu Lintas Bersinyal Pada LPRJ $DS=1,44$ dan $Sw=30$ km/jam Terhadap Periode Pengamatan dan Waktu Siklus	104
Gambar 4.3.	Kinerja Kontrol Lalu Lintas Bersinyal Pada LPRJ Periode Pengamatan 240 Detik, $DS=1,44$ dan $Sw=20$ km/jam Terhadap Waktu Siklus	106
Gambar 4.4.	Kinerja Kontrol Lalu Lintas Bersinyal Pada LPRJ Periode Pengamatan 240 Detik, $DS=1,44$ dan $Sw=30$ km/jam Terhadap Waktu Siklus	108

Gambar 4.5.	Kinerja Kontrol Lalu Lintas Bersinyal Pada LPRJ DS=1,86 dan Sw=20 km/jam Terhadap Periode Pengamatan dan Waktu Siklus	117
Gambar 4.6.	Kinerja Kontrol Lalu Lintas Bersinyal Pada LPRJ DS=1,86 dan Sw=30 km/jam Terhadap Periode Pengamatan dan Waktu Siklus	119
Gambar 4.7.	Kinerja Kontrol Lalu Lintas Bersinyal pada LPRJ Periode Pengamatan 240 Detik, DS=1,86 dan Sw=20 km/jam Terhadap Waktu Siklus	121
Gambar 4.8.	Kinerja Kontrol Lalu Lintas Bersinyal pada LPRJ Periode Pengamatan 240 Detik, DS=1,86 dan Sw=30 km/jam Terhadap Waktu Siklus	123
Gambar 4.9.	Kinerja Kontrol Lalu Lintas Bersinyal Pada LPRJ DS=2,26 dan Sw=20 km/jam Terhadap Periode Pengamatan dan Waktu Siklus	131
Gambar 4.10.	Kinerja Kontrol Lalu Lintas Bersinyal Pada LPRJ DS=2,26 dan Sw=30 km/jam Terhadap Periode Pengamatan dan Waktu Siklus	134
Gambar 4.11.	Kinerja Kontrol Lalu Lintas Bersinyal Pada LPRJ Periode Pengamatan 240 Detik, DS=2,26 dan Sw=20 km/jam Terhadap Waktu Siklus	136
Gambar 4.12.	Kinerja Kontrol Lalu Lintas Bersinyal Pada LPRJ Periode Pengamatan 240 Detik, DS=2,26 dan Sw=30 km/jam Terhadap Waktu Siklus	137
Gambar 4.13.	Kinerja Kontrol Lalu Lintas Bersinyal Pada LPRJ DS=2,76 dan Sw=20 km/jam Terhadap Periode Pengamatan dan Waktu Siklus	145
Gambar 4.14.	Kinerja Kontrol Lalu Lintas Bersinyal Pada LPRJ DS=2,76 dan Sw=30 km/jam Terhadap Periode Pengamatan dan Waktu Siklus	147

Gambar 4.15. Kinerja Kontrol Lalu Lintas Bersinyal Pada LPRJ Periode Pengamatan 240 Detik, $DS=2,76$ dan $Sw=20$ km/jam Terhadap Waktu Siklus	149
Gambar 4.16. Kinerja Kontrol Lalu Lintas Bersinyal Pada LPRJ Periode Pengamatan 240 Detik, $DS=2,76$ dan $Sw=30$ km/jam Terhadap Waktu Siklus	151
Gambar 5.1. Tundaan Total Pada Periode Pengamatan Kedatangan Kendaraan 240 Detik, $Sw=20$ km/jam dan $c=240$ detik	168
Gambar 5.2. Tundaan Total Pada Periode Pengamatan Kedatangan Kendaraan 240 Detik, $Sw=30$ km/jam dan $c=240$ detik	168
Gambar 5.3. <i>Throughput</i> Rata-rata Pada $1 \leq DS \leq 1,5$, Periode Pengamatan Kedatangan Kendaraan 240 Detik dan $c=240$ detik	169
Gambar 5.4. <i>Throughput</i> Rata-rata Pada $1,5 \leq DS \leq 2$, Periode Pengamatan Kedatangan Kendaraan 240 Detik dan $c=240$ detik	169
Gambar 5.5. <i>Throughput</i> Rata-rata Pada $2 \leq DS \leq 2,5$, Periode Pengamatan Kedatangan Kendaraan 240 Detik dan $c=240$ detik	170
Gambar 5.6. <i>Throughput</i> Rata-rata Pada $2,5 \leq DS \leq 3$, Periode Pengamatan Kedatangan Kendaraan 240 Detik dan $c=240$ detik	170
Gambar 5.7. Periode Lewat Jenuh Rata-rata Pada $1 \leq DS \leq 1,5$, Periode Pengamatan Kedatangan Kendaraan 240 Detik dan $c=240$ detik	171
Gambar 5.8. Periode Lewat Jenuh Rata-rata Pada $1,5 \leq DS \leq 2$, Periode Pengamatan Kedatangan Kendaraan 240 Detik dan $c=240$ detik	171
Gambar 5.9. Periode Lewat Jenuh Rata-rata Pada $1,5 \leq DS \leq 2$, Periode Pengamatan Kedatangan Kendaraan 240 Detik dan $c=240$ detik	172

Gambar 5.10. Periode Lewat Jenuh Rata-rata Pada $1,5 \leq DS \leq 2$, Periode Pengamatan Kedatangan Kendaraan 240 Detik dan $c=240$ detik	172
Gambar 5.11. Nomogram Tundaan Total Menurut DS pada Periode Pengamatan Kedatangan kendaraan 240 Detik, $Sw=20$ km/jam dan $c=240$ detik	174
Gambar 5.12. Nomogram Tundaan Total Menurut DS pada Periode Pengamatan Kedatangan kendaraan 240 Detik, $Sw=30$ km/jam dan $c=240$ detik	174
Gambar 5.13. Nomogram <i>Throughput Rata-rata</i> Pada $1 \leq DS \leq 1,5$, Periode pengamatan kedatangan kendaraan 240 Detik dan $c=240$ detik	176
Gambar 5.14. Nomogram <i>Throughput Rata-rata</i> Pada $1,5 \leq DS \leq 2$, Periode Pengamatan Kedatangan Kendaraan 240 Detik dan $c=240$ detik	176
Gambar 5.15. Nomogram <i>Throughput Rata-rata</i> Pada $2 \leq DS \leq 2,5$, Periode pengamatan kedatangan kendaraan 240 Detik dan $c=240$ detik	177
Gambar 5.16. Nomogram <i>Throughput Rata-rata</i> Pada $2,5 \leq DS \leq 3$, Periode pengamatan kedatangan kendaraan 240 Detik dan $c=240$ detik	177

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1.	Ukuran dan Jarak Pemasangan Rambu Zona Keselamatan	9
Tabel 2.2.	Standar Panjang Taper	10
Tabel 2.3.	Pemilihan Metode Kontrol Lalu Lintas	11
Tabel 2.4.	Kriteria Kontrol Lalu Lintas Pada LPRJ	12
Tabel 2.5.	Data Kedatangan Kendaraan Kumulatif	33
Tabel 2.6.	Perbandingan Model Tundaan Minimum Diskrit Dan Model <i>Maximum Throughput</i>	34
Tabel 2.7.	Volume Kumulatif dan Panjang Antrian - Model Tundaan Minimum Diskrit	36
Tabel 2.8.	Volume Kumulatif dan Panjang Antrian - Model <i>Maximum Throughput</i>	37
Tabel 2.9.	Ringkasan Perbandingan Model Minimum Tundaan Diskrit dan Model <i>Maximum Throughput</i>	38
Tabel 3.1.	Data Volume Kedatangan Kendaraan dan Derajat Kejenuhan	52
Tabel 3.2.	Kinerja Kontrol Lalu Lintas Bersinyal Berdasarkan Tundaan Total Minimum dan Tingkat Pelepasan Rata- Rata Maksimum	55
Tabel 3.3.	Persentase Perbandingan Kinerja Terhadap Kinerja Berdasarkan Tundaan Total Minimum Dengan Nilai $R \geq 0.95$	55
Tabel 3.4.	Perbandingan Kinerja	58
Tabel 3.5.	Persentase Perbaikan Kinerja Terhadap Model Tundaan Diskrit Minimum	58
Tabel 3.6.	Kinerja Model Tundaan Diskrit Minimum	59
Tabel 3.7.	Kinerja Model <i>Maximum Throughput</i>	60
Tabel 3.8.	Kinerja Model Penelitian-Pergantian Waktu Hijau Pada $R \geq 0,95$	61

Tabel 3.9.	Perbandingan Tundaan Total dan <i>Throughput</i> Rata-Rata Pada Sw=20 km/jam dan c=150 detik	68
Tabel 3.10.	Perbandingan Tundaan Total dan <i>Throughput</i> Rata-Rata Pada Sw=30 km/jam dan c=150 detik	69
Tabel 3.11.	Perbandingan Tundaan Total dan <i>Throughput</i> Rata-Rata Pada Sw=20 km/jam dan c=240 detik	70
Tabel 3.12.	Perbandingan Tundaan Total dan <i>Throughput</i> Rata-Rata Pada Sw=30 km/jam dan c=240 detik	71
Tabel 3.13.	Hasil Simulasi Pada Sw=20 km/jam dan c=150 detik	72
Tabel 3.14.	Hasil Simulasi Pada Sw=30 km/jam dan c=150 detik	74
Tabel 3.15.	Hasil Simulasi Pada Sw=20 km/jam dan c=240 detik	76
Tabel 3.16.	Hasil Simulasi Pada Sw=30 km/jam dan c=240 detik	78
Tabel 3.17.	Metode Penentuan Arus Jenuh	83
Tabel 3.18.	Asumsi Arus Jenuh Sesungguhnya Berdasarkan Lebar Lajur	84
Tabel 4.1.	Arus Jenuh Berdasarkan Lebar Lajur	89
Tabel 4.2.	Asumsi Arus Kedatangan Pada 300 Detik Pertama	90
Tabel 4.3.	Lokasi Detektor Pertama Dari Garis Henti Berdasarkan Kecepatan Rata-Rata Kendaraan	91
Tabel 4.4.	Asumsi Akumulasi Arus Kedatangan Per Periode Berdasarkan Data Periode 300 detik – Split 50:50	94
Tabel 4.5.	Skenario Simulasi Kontrol Lalu Lintas Dengan Kontrol Lalu Lintas Bersinyal Pada LPRJ	95
Tabel 4.6.	Perbandingan Kinerja Pada DS=1,44, Sw=20 km/jam	97
Tabel 4.7.	Perbandingan Kinerja Pada DS=1,44, Sw=30 km/jam	98
Tabel 4.8.	Persentase Perbedaan Antar Waktu Siklus Pada DS=1,44 – Periode Pengamatan 240 Detik	109
Tabel 4.9.	Persentase Perbedaan Kinerja Antara Sw=20 km/jam Dengan Sw=30 km/jam, DS=1,44 – Periode Pengamatan 240 Detik	111

Tabel 4.10. Perbandingan Kinerja Pada DS=1,86, Sw=20 km/jam	112
Tabel 4.11. Perbandingan Kinerja Pada DS=1,86, Sw=30 km/jam	113
Tabel 4.12. Persentase Perbedaan Antar Waktu Siklus Pada DS=1,86 – Periode Pengamatan 240 Detik	124
Tabel 4.13. Persentase Perbedaan Kinerja Antara Sw=20 km/jam Dengan Sw=30 km/jam, DS=1,86 – Periode Pengamatan 240 Detik	126
Tabel 4.14. Perbandingan Kinerja Pada DS=2,26, Sw=20 km/jam	127
Tabel 4.15. Perbandingan Kinerja Pada DS=2,26, Sw=30 km/jam	128
Tabel 4.16. Persentase Perbedaan Antar Waktu Siklus Pada DS=2,26 – Periode Pengamatan 240 Detik	138
Tabel 4.17. Persentase Perbedaan Kinerja Antara Sw=20 km/jam Dengan Sw=30 km/jam, DS=2,26 – Periode Pengamatan 240 Detik	140
Tabel 4.18. Perbandingan Kinerja Pada DS=2,76, Sw=20 km/jam	141
Tabel 4.19. Perbandingan Kinerja Pada DS=2,76, Sw=30 km/jam	142
Tabel 4.20. Persentase Perbedaan Antar Waktu Siklus Pada DS=2,76 – Periode Pengamatan 240 Detik	152
Tabel 4.21. Persentase Perbedaan Kinerja Antara Sw=20 km/jam Dengan Sw=30 km/jam, DS=2,76 – Periode Pengamatan 240 Detik	153
Tabel 4.22. Kontrol Lalu Lintas Bersinyal Pada LPRJ Dengan Periode Pengamatan 240 Detik, Sw=20 km/jam, Split Arus Kedatangan 60:40	155
Tabel 4.23. Kontrol Lalu Lintas Bersinyal Pada LPRJ Dengan Periode Pengamatan 240 Detik, Sw=30 km/jam, Split Arus Kedatangan 60:40	156
Tabel 4.24. Kontrol Lalu Lintas Bersinyal Pada LPRJ Dengan Periode Pengamatan 240 Detik, Split Arus Kedatangan 70:30	157
Tabel 4.25. Perbandingan Kinerja Antar Proporsi Arus Kedatangan, Sw=20 km/jam, c=240 Detik	158

Tabel 4.26. Perbandingan Kinerja Antar Proporsi Arus Kedatangan, Sw=30 km/jam, c=240 Detik	159
Tabel 5.1. Perbandingan Kinerja Kontrol Lalu Lintas Bersinyal pada LPRJ dengan Variasi Periode Pengamatan Kedatangan Kendaraan, DS dan Panjang LPRJ, c= 240 Detik	162
Tabel 5.2. Rekomendasi Lokasi Detektor	164
Tabel 5.3. Tundaan Total dan Persentase Perbedaan Tundaan Total Terhadap Waktu Siklus 240 Detik –Periode Pengamatan 240 Detik	165
Tabel 5.4. <i>Throughput Rata-Rata</i> dan Persentase Perbedaan <i>Throughput Rata-Rata</i> Terhadap Waktu Siklus 240 Detik – Periode Pengamatan 240 Detik	166
Tabel 5.5. Periode Lewat Jenuh dan Persentase Perbedaan Periode Lewat Jenuh Terhadap Waktu Siklus 240 Detik - Periode Pengamatan 240 Detik	167
Tabel 5.6. Persamaan antara Tundaan Total Dengan Panjang LPRJ pada Periode Pengamatan 240 Detik dan c=240 Detik	173
Tabel 5.7. Persamaan antara <i>Throughput Rata-rata</i> Dengan Panjang LPRJ pada Periode Pengamatan 240 Detik dan c=240 Detik	175
Tabel 5.8 Periode Lewat Jenuh Dengan Panjang LPRJ pada Periode Pengamatan 240 Detik dan c=240 Detik	178

DAFTAR SINGKATAN

APILL	=	Alat Pemberi Isyarat Lalu Lintas
LPRJ	=	Lokasi Penyempitan Pada Ruas Jalan
<i>adf</i>	=	<i>applied discharge flow</i> / arus pelepasan
smp	=	satuan mobil penumpang
DS	=	Derajat Kejenuhan Total yaitu penjumlahan rasio arus kedatangan terhadap arus jenuh sebagai variabel dalam variasi arus kedatangan dari kedua lajur dengan arah pergerakan berlawanan yang pada kontrol lalu lintas bersinyal dianggap sebagai pendekat.

DAFTAR SIMBOL DAN RUMUS

Y	=	Arus maksimum yang menghasilkan waktu tunggu maksimum (240 detik)
x_1	=	Lebar zona kerja, meter
x_2	=	Kecepatan, km/jam
x_3	=	Panjang zona kerja, meter
Y_1, Y_2	=	Waktu <i>clearance</i> kuning pendekat satu, dua, , detik
R_{a1}, R_{a2}	=	Waktu <i>clearance</i> merah untuk pendekat satu dan dua, detik
G_{1max}	=	Waktu hijau maksimum pada pendekat satu, detik
G_{2max}	=	Waktu hijau maksimum pada pendekat dua, detik
y	=	Panjang interval waktu kuning , detik
t	=	Waktu persepsi/reaksi pengemudi, disarankan 1 detik
v	=	Kecepatan kendaraan datang, dalam m/detik
a	=	Angka perlambatan, disarankan 3 m/detik ²
G	=	Percepatan, sebesar gaya gravitasi 10 m/detik ²
g	=	Kemiringan pendekat (0,02 atau 2%, bila turunan bernilai negatif)
TT	=	Waktu tempuh, detik
L	=	Panjang zona kerja, meter
v	=	Kecepatan kendaraan terendah yang mungkin pada zona kerja, km/jam
c	=	Waktu siklus, detik
L	=	Waktu hilang per siklus, detik
$Q_i(t)$	=	Fungsi akumulasi kedatangan kendaraan, smp/jam
$G_i(t)$	=	Fungsi akumulasi pelepasan (pelayanan), smp/jam
q_i	=	Tingkat kedatangan kendaraan per satuan waktu, smp/jam
T	=	Perioda lewat jenuh, detik
γ_i	=	Tingkat pelepasan kendaraan pada fase i , smp/jam

g_{\min}	= Waktu hijau efektif minimum, detik
g_{\max}	= Waktu hijau efektif maximum, detik
g_1, g_2	= Waktu hijau actual dari fase 1 dan fase 2
γ_1, γ_2	= Tingkat pelepasan kendaraan pada fase 1 dan fase 2
PI	= <i>Performance Index</i>
B	= <i>the control gain</i>
$PI(k)$	= <i>Performance Index</i> pada kondisi k
$PI_i(k)$	= <i>Performance Index</i> pada pendekatan atau pergerakan i , kondisi k
$u(k)$	= Variabel kontrol pada kondisi k
$W_i(k)$	= Variabel eksogen pada pendekatan atau pergerakan i , kondisi k
$Z(k)$	= Variabel eksogen pada pendekatan atau pergerakan i , kondisi k
M	= Jumlah fase
$\gamma_m(t)$	= Nilai arus pelepasan fase m pada waktu t
t_{oj}	= Waktu yang diperlukan arus fase j mencapai nilai maksimum
g_j	= Durasi waktu hijau fase j
\bar{g}	= Vektor waktu hijau efektif total, $\bar{g} = (g_1, g_2)$
\bar{g}^k	= Vektor waktu hijau efektif total pada iterasi k , atau $\bar{g}^k = (g_1^k, g_2^k)$
$\psi(\bar{g})$	= <i>Throughput</i> rata-rata untuk <i>assignment</i> \bar{g}
δ	= Nilai ambang batas (<i>threshold</i>)
n	= Jumlah waktu siklus
Lw	= Panjang LPRJ, meter
Sw	= Kecepatan rata-rata kendaraan dalam melintasi LPRJ
c_{eff}	= Waktu siklus efektif, merupakan hasil pengurangan dari waktu siklus terhadap waktu <i>clearance</i> , detik
$VD_{i,j}$	= Kendaraan yang dialirkan saat waktu hijau ke- i iterasi ke- j (smp)
$s_m \quad m = 1,2$	= Arus jenuh pendekatan (smp/jam)
$G_i(m)$	= Waktu hijau pendekatan m pada komposisi siklus $i \quad i = 1,2$

$Q_{i;j}$	= Panjang antrian saat waktu hijau komposisi siklus ke- i iterasi ke- j
$CA_{i;j}$	= Akumulasi kendaraan yang datang pada percobaan waktu hijau ke- i dan iterasi ke- j .
$CD_{i;j}$	= Akumulasi kendaraan yang dilepas pada percobaan waktu hijau ke- i dan iterasi ke- j .
γ_1, γ_2	= Tingkat pelepasan kendaraan pada fase 1 dan fase 2 (smp/jam)
s_1, s_2	= Arus jenuh pendekat 1 dan pendekat 2 (smp/jam)
$R_{ij}(m)$	= rasio akumulasi kendaraan yang dilepas terhadap akumulasi kendaraan yang datang
D_{ij}	= tundaan rata-rata kendaraan pada waktu hijau ke- i iterasi ke- j (detik/smp)
D_{tot}	= Total tundaan kendaraan sepanjang periode lewat jenuh (detik)
γ_{ij}	= tingkat pelepasan kendaraan (<i>throughput</i>) pada waktu hijau ke- i iterasi ke- j (smp/jam)
$\bar{\gamma}$	= tingkat pelepasan kendaraan (<i>throughput</i>) rata-rata pada periode lewat jenuh (smp/jam)

Rumus 2.1 Persamaan untuk menghitung arus lalu lintas maksimum yang dapat dilayani untuk mendapatkan waktu tunggu 240 detik di perkotaan :

$$y = 3895.3 - 610x_1 + 21.35x_2 - 0.97x_3.$$

Rumus 2.2. Persamaan untuk menghitung arus lalu lintas maksimum yang dapat dilayani untuk mendapatkan waktu tunggu 240 detik di jalan luar kota:

$$y = 3090.6 - 484.5x_1 + 17.23x_2 - 0.78x_3$$

Rumus 2.3. Maksimum waktu tunggu pendekat 1

$$Y_1 + R_{a1} + G_{2max} + Y_2 + R_{a2}$$

Rumus 2.4. Maksimum waktu tunggu pendekat 2

$$Y_1 + R_{a1} + G_{1\max} + Y_2 + R_{a2} \quad (2.4)$$

Rumus 2.5. Interval Perubahan waktu Kuning

$$y = t + \frac{v}{2a + 2Gg}$$

Rumus 2.6. Interval *Clearance* Merah

$$TT = \frac{3,6.L}{v}$$

Rumus 2.7. Persamaan arus untuk kondisi lewat jenuh

$$\frac{q_1}{s_1} + \frac{q_2}{s_2} > 1 - \left(\frac{L}{c}\right)$$

Rumus 2.8. Fungsi akumulasi kedatangan dan akumulasi pelepasan kendaraan:

$$G_i(t) = \int_0^t \gamma_i(t).dt$$

Rumus 2.9. Tingkat pelepasan kendaraan pada fase i

$$\gamma_i = \frac{g_i s_i}{c}$$

Rumus 2.10. Waktu hijau fase i

$$g_i = \frac{\gamma_i \cdot c}{s_i}$$

Rumus 2.11. Batas Atas Dan Batas Bawah Dari Waktu Hijau

$$g_{\min} \leq \frac{\gamma_i \cdot c}{s_i} \leq g_{\max} \quad i = 1,2$$

Rumus 2.12. Rentang tingkat pelepasan gabungan, $s_1 > s_2$:

$$\frac{(s_1 g_{\min} + s_2 g_{\max})}{c} \leq (\gamma_1 + \gamma_2) \leq \frac{(s_1 g_{\max} + s_2 g_{\min})}{c}$$

Rumus 2.13. Persamaan strategi pelayanan APILL

$$\frac{\gamma_1(t)}{s_1} + \frac{\gamma_2(t)}{s_2} \leq 1 - \left(\frac{L}{c}\right) \quad (\text{konstan})$$

Rumus 2.14. Fungsi tundaan minimum

$$D = \sum_{i=1}^2 \int_0^T [Q_i(t) - G_i(t)] dt$$

Rumus 2.15. Fungsi Pelayanan

$$G_i(t) = \int_0^t \gamma_i(t) dt$$

Rumus 2.16. Akumulasi kedatangan dan pelayanan kontrol lalu lintas bersinyal ,
batas waktu T

$$G_i(T) = Q_i(T) \quad i = 1,2$$

Rumus 2.18. Persamaan kedatangan kendaraan dengan asumsi garis lurus

$$Q_i(t) = A_i + B_i t$$

Rumus 2.19. Persamaan kedatangan dan pelayanan kontrol lalu lintas bersinyal

$$\gamma_i T = Q_i T \quad (i = 1,2)$$

Rumus 2.20. Persamaan periode lewat jenuh

$$T = \frac{(A_1 s_1 + A_2 s_2)}{[-(B_1 s_2 + B_2 s_1) + s_1 s_2 (1 - L/c)]}$$

Rumus 2.21. Rumus *switch over point* (Gazis, 1964)

$$\tau = \frac{[(c/s_1)Q_1(T) - g_{\min} T]}{(g_{\max} - g_{\min})}$$

Rumus 2.22 . Model *Performance Index*(PI)

$$PI = D + KF$$

Rumus 2.23. Model Tundaan Diskrit Minimum

$$PI(k + 1) = PI(k) + Bu(k) + Z(k)$$

Rumus 2.24. Fungsi Obyektif Pada Model Tundaan Diskrit Minimum

$$\text{MIN } J = \frac{1}{2}(D(N))^2 + \frac{1}{2} \sum_{k=2}^N (D(k))^2$$

Rumus 2.25. Fungsi obyektif Model *Maximum Throughput*:

$$c = L + \sum_{m=1}^M g_m$$

Rumus 2.26. *Throughput* rata-rata $\Psi(\bar{g})$

$$\Psi(\bar{g}) = \frac{\sum_{m=1}^M \int_0^{s_m} \gamma_m(t) dt}{C}$$

Rumus 2.27. *Throughput* rata-rata $\Psi(\bar{g})$ dengan fungsi adf

$$\Psi(\bar{g}) = \frac{\sum_{m=1}^M \int_0^{s_m} \gamma_m(t) dt}{(L + \sum_{m=1}^M g_m)}$$

Rumus 2.28. Turunan *Throughput* rata-rata $\Psi(\bar{g})$

$$\frac{\partial \Psi}{\partial g_j} = \frac{\gamma_j(g_j)(L + \sum_{m=1}^M g_m) - \sum_{m=1}^M \int_0^{s_m} \gamma_m(t) dt}{(L + \sum_{m=1}^M g_m)^2}$$

$$= 0, \quad \forall j = 1, \dots, M$$

Rumus 2.29. Solusi Model *Maximum Throughput* untuk menentukan durasi g_j^*

dari fase j :

$$\gamma_j(g_j^*) = \frac{\sum_{m=1}^M \int_0^{s_m^*} \gamma_m(t) dt}{L + \sum_{m=1}^M g_m^*} = \Psi(\bar{g}^*), \quad \forall j = 1, 2, \dots, M$$

Rumus 3.1. Persamaan kedatangan kendaraan kedatangan pendekat 1 dan pendekat 2

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

Rumus 3.2. Persamaan pelayanan kendaraan kedatangan pendekat 1 dan pendekat 2

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

Rumus 3.3. Persamaan total kedatangan kendaraan pada kedua pendekat

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

Rumus 3.4. dan Rumus 3.5. Persamaan total pelayanan pada kedua pendekat

$$G = G_1 + G_2 = (\gamma_1 + \gamma_2) \cdot x$$

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

Rumus 3.6. Persamaan tingkat pelepasan

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

Rumus 3.7. Penyederhanaan persamaan waktu siklus

$$g_1 + g_2 = c$$

Rumus 3.8. Persamaan total pelayanan pada kedua pendekat pada akhir waktu jenuh

$$-(a_1 + a_2) \cdot n \cdot c + (b_1 + b_2) = \frac{(c - g_2) s_1 + g_2 s_2}{c}$$

Rumus 3.9. Kendaraan yang dialirkan saat waktu hijau ke- i iterasi ke- j

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

Rumus 3.10. Panjang antrian saat waktu hijau komposisi siklus ke- i iterasi ke- j

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

Rumus 3.1.1. Rasio akumulasi kendaraan yang dilepas terhadap akumulasi kendaraan yang datang pada pendekat m pada percobaan waktu hijau ke- i dan iterasi ke- j

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

DAFTAR LAMPIRAN

LAMPIRAN 1	Contoh Program Matlab	180
LAMPIRAN 2	Contoh Hasil Simulasi	186
LAMPIRAN 3	Penjelasan Hasil Simulasi	194
LAMPIRAN 4	Contoh Proses Pemilihan Waktu Hijau Optimum Dari Solusi Yang Memenuhi Syarat	199

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Permasalahan Penelitian

1.1.1. Latar Belakang

Fenomena penyempitan ruas jalan pada perioda waktu yang relatif lama sering dialami dalam kegiatan lalu lintas. Penyempitan ruas jalan dapat disebabkan oleh beberapa aktifitas yang terjadi di jalan, misalnya adanya pekerjaan di jalan, adanya pekerjaan jembatan, terjadinya kecelakaan dan terjadinya insiden. Penyempitan ruas jalan akan menimbulkan hambatan dalam lalu lintas, yaitu terjadinya penurunan kecepatan dan timbulnya antrian kendaraan.

Ruas jalan yang sangat terpengaruh oleh penyempitan ruas jalan adalah ruas jalan dengan tipe dua lajur dua arah tak terbagi (2/2 UD). Bila lebar yang tersisa akibat penyempitan dari ruas jalan tipe 2/2 UD tidak cukup untuk digunakan lalu lintas dua arah, maka ruas jalan tersebut memerlukan kontrol lalu lintas secara khusus, baik dengan rambu-rambu, pengaturan bergantian secara manual maupun kontrol lalu lintas bersinyal dengan Alat Pemberi Isyarat Lalu Lintas (APILL).

Permasalahan lalu lintas di lokasi penyempitan ruas jalan pada tipe jalan 2/2 UD akan semakin kompleks apabila arus lalu lintas yang melintasi lokasi sudah mencapai kondisi lewat jenuh (*oversaturated*). Rancangan waktu kontrol lalu lintas bersinyal pada kondisi lewat jenuh lebih rumit dibandingkan kontrol lalu lintas bersinyal untuk arus lalu lintas tidak jenuh, dan akan menimbulkan antrian yang panjang bila kendaraan yang datang ke persimpangan tidak dilayani secara benar. Formula perhitungan waktu siklus dan waktu hijau optimal yang seringkali digunakan untuk perencanaan kontrol lalu lintas bersinyal pada kondisi lalu lintas tidak jenuh tidak dapat diterapkan pada kondisi lewat jenuh, sehingga memerlukan penanganan khusus. Pada kondisi ini diperlukan pelayanan untuk mengatasi antrian dari satu siklus ke siklus yang lain.

Model matematis dengan variabel kontrol untuk perencanaan waktu sinyal pada kondisi lewat jenuh sudah dilakukan oleh beberapa peneliti antara lain Gazis (1964) dan Gazis & Pott (1965) dengan metoda semi grafis, Chang & Lin

(2000) dan Chang & Sun (2004) mengembangkan model diskrit dinamis dan pendekatan indeks kinerja untuk mengoptimasi parameter sinyal selama periode kondisi lewat jenuh.

Beberapa studi yang pernah dilakukan mendapati bahwa pemberian waktu hijau yang panjang kepada pendekat lewat jenuh, memberikan kecenderungan peningkatan jarak antara (*headway*) dan penurunan arus jenuh (*saturation flow*) sebelum antrian dihabiskan (Pignataro et al, 1978; May dan Montgomery, 1986; Mahalel et al, 1991; Chang dan Lin, 2000; Honglong dan Prevedouros, 2002). Kondisi arus lalu lintas lewat jenuh telah dianalisis dalam berbagai studi-antara lain Gazis dan Potts (1963); Michalopoulos et al, (1981); Chang dan Lin (2000); Ceder dan Reshetnik (2001). Tujuan studi-studi ini adalah untuk meminimumkan tundaan, yang yang didasarkan pada pemahaman lebih lanjut atas kedatangan kendaraan, panjang antrian, dan lain lain. Namun, informasi tersebut sering sulit didapat pada kondisi arus lewat jenuh akibat hal-hal yang tidak terduga, seperti kondisi arus lewat jenuh akibat dari suatu kecelakaan. Selain studi yang bertujuan meminimumkan tundaan, Talmor dan Mahalel (2007) melakukan studi penyelesaian arus lewat jenuh dengan memaksimumkan pelepasan kendaraan (*average throughput*) sebagai upaya untuk memperkecil jumlah kendaraan dalam antrian dan menyelesaikan periode lewat jenuh secepat mungkin.

Diperlukan penelitian untuk mendapatkan strategi kontrol lalu lintas bersinyal yang optimum dalam menyelesaikan permasalahan arus lalu lintas lewat jenuh di lokasi penyempitan ruas jalan pada ruas jalan 2/2UD. Strategi kontrol lalu lintas bersinyal di lokasi penyempitan ruas jalan pada ruas jalan 2/2UD dapat dilakukan dengan memperlakukan lokasi penyempitan ruas jalan sebagai persimpangan yang terisolasi dengan dua arah pergerakan.

1.1.2. Identifikasi Masalah

Identifikasi masalah yang dihadapi adalah:

- Perlunya kontrol lalu lintas di Lokasi Penyempitan Ruas Jalan (untuk selanjutnya disebut LPRJ) pada tipe jalan dua lajur dua arah tak terbagi.
- Penanganan kontrol lalu lintas pada LPRJ identik dengan penanganan kontrol lalu lintas pada persimpangan dengan dua arah pergerakan.

- Kontrol lalu lintas bersinyal dengan Alat Pemberi Isyarat Lalu Lintas (untuk selanjutnya disebut APILL) pada kondisi arus lalu lintas lewat jenuh tidak dapat diatasi dengan teori kontrol lalu lintas pada persimpangan dengan arus lalu lintas tidak jenuh.
- Belum pernah dilakukan penelitian tentang kontrol lalu lintas bersinyal di LPRJ pada kondisi arus lalu lintas lewat jenuh pada tipe jalan dua lajur dua arah tak terbagi.

1.1.3. Perumusan Masalah Penelitian

Masalah penelitian tentang kontrol lalu lintas bersinyal di LPRJ pada kondisi arus lalu lintas lewat jenuh dapat dirumuskan sebagai berikut:

- Metoda apa saja yang sudah dikembangkan dalam analisis kontrol lalu lintas dengan APILL pada kondisi lalu lintas lewat jenuh.
- Apakah dapat dikembangkan metoda baru yang memiliki kinerja lebih baik dari metoda-metoda yang ada.
- Bagaimana menerapkan perancangan kontrol lalu lintas dengan APILL di LPRJ pada kondisi arus lalu lintas lewat jenuh pada tipe jalan dua lajur dua arah tak terbagi.

1.2. Lingkup Penelitian

1.2.1. Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian adalah sebagai berikut:

- Merumuskan metoda kontrol lalu lintas bersinyal yang memiliki kinerja lebih baik dari metoda-metoda yang ada, di jalan dua lajur dua arah tak terbagi yang mengalami penyempitan karena adanya Lokasi Penyempitan Ruas Jalan (LPRJ) pada kondisi arus lalu lintas lewat jenuh.
- Merumuskan nomogram yang dapat digunakan oleh praktisi manajemen lalu lintas untuk memperkirakan kinerja lalu lintas yang akan timbul akibat penerapan kontrol lalu lintas bersinyal di LPRJ tipe jalan dua lajur dua arah tak terbagi pada kondisi arus lalu lintas lewat jenuh

1.2.2. Batasan Penelitian

Batasan penelitian yang dilakukan untuk mendukung tercapainya tujuan penelitian adalah sebagai berikut:

- Kontrol lalu lintas dengan APILL LPRJ identik dengan kontrol lalu lintas dengan APILL dengan pengaturan dua fase pada persimpangan terisolasi.
- Kondisi arus lewat jenuh ditandai dengan nilai Derajat Kejenuhan Total dari dua lajur yang berlawanan, yang dianggap sebagai pendekat persimpangan, yaitu penjumlahan rasio volume terhadap kapasitas dari pendekat sebelum dan sesudah LPRJ.
- Penerapan kontrol lalu lintas dengan APILL pada LPRJ dilakukan pada tipe jalan dua lajur dua arah tak terbagi.
- Kecepatan kendaraan pada LPRJ (S_w) merupakan kecepatan rata-rata tempuh (*space mean speed*), yaitu kecepatan rata-rata dari kecepatan awal (start) dan kecepatan ketika melintasi LPRJ.
- Panjang LPRJ (L_w) adalah panjang total rata-rata antara dua garis henti pada kedua pendekat.

1.2.3. Manfaat Penelitian

Bagi peneliti:

Merupakan kontribusi pemikiran dalam kontrol lalu lintas bersinyal pada kondisi arus lewat jenuh dengan pengembangan metoda baru untuk menyelesaikan antrian kendaraan pada kondisi lewat jenuh secepat mungkin dan memberikan pedoman dalam menentukan periode pengamatan kendaraan optimum, waktu siklus optimum serta panjang LPRJ yang dapat diakomodasi oleh kontrol lalu lintas bersinyal pada arus lewat jenuh.

Bagi Universitas Indonesia:

Merupakan kontribusi pemikiran dari Universitas Indonesia pada umumnya dan Fakultas Teknik Program Studi Teknik Sipil pada khususnya dalam kedudukannya sebagai Pusat Riset Teknologi kepada kemajuan sektor transportasi di Indonesia.

Bagi Sektor Transportasi:

Hasil yang diharapkan pada penelitian ini adalah suatu pedoman yang dapat digunakan oleh praktisi manajemen lalu lintas dalam merencanakan pengaturan lalu lintas sementara dengan kontrol lalu lintas bersinyal di lokasi penyempitan ruas jalan pada ruas jalan dua lajur dua tak terbagi yang mengalami kondisi arus lalu lintas lewat jenuh.

1.3. Metodologi Penulisan

Untuk dapat mencapai tujuan dari penelitian, penulisan disusun dalam enam bab yang diuraikan sebagai berikut:

Bab I : Pendahuluan

Membahas tentang permasalahan penelitian yang terdiri dari latar belakang, identifikasi dan rumusan masalah, lingkup penelitian yang meliputi tujuan, batasan, manfaat penelitian dan metodologi penulisan.

Bab II : Tinjauan Pustaka

Berisi tentang kajian pustaka dan teori tentang LPRJ, kontrol lalu lintas pada LPRJ dan metoda analisis kontrol lalu lintas bersinyal pada kondisi arus lalu lintas lewat jenuh.

Bab III : Metode Penelitian

Berisi tentang proses penyusunan konsep analisis kontrol lalu lintas dengan APILL pada kondisi arus lalu lintas lewat jenuh dan melakukan evaluasi untuk memilih metoda kontrol lalu lintas dengan APILL di LPRJ pada kondisi arus lalu lintas lewat jenuh yang memberikan kinerja lalu lintas terbaik. Pada Bab ini juga disajikan metodologi pendekatan dari metode analisis terpilih dan algoritma dari metode terpilih.

Bab IV : Hasil Penelitian

Hasil penelitian meliputi analisis terhadap hasil penerapan metode penelitian dalam perencanaan kontrol lalu lintas bersinyal pada LPRJ pada kondisi arus lewat jenuh dengan melakukan simulasi terhadap variasi pengaruh derajat kejenuhan total, variasi periode pengamatan kedatangan kendaraan, variasi panjang LPRJ, variasi kecepatan pada lokasi penyempitan ruas jalan, variasi waktu siklus dan variasi split arus lalu lintas.

Bab V : Pembahasan Penelitian

Pembahasan penelitian meliputi pengaruh berbagai variasi yang disimulasikan terhadap kinerja kontrol lalu lintas bersinyal di LPRJ pada kondisi arus lalu lintas lewat jenuh, meliputi pengaruh variasi derajat kejenuhan total, variasi periode pengamatan kedatangan kendaraan, variasi panjang LPRJ, variasi kecepatan pada LPRJ, variasi waktu siklus dan variasi split arus lalu lintas.

Bab VI : Kesimpulan dan Saran Penelitian

Kesimpulan penelitian meliputi kesimpulan akan efektifitas dan kelayakan metode penelitian untuk digunakan sebagai metode kontrol lalu lintas bersinyal di LPRJ tipe jalan dua lajur dua arah tak terbagi pada kondisi arus lalu lintas lewat jenuh.

Saran penelitian meliputi rekomendasi penempatan lokasi detektor, dan panjang LPRJ yang dapat diakomodasi serta persamaan-persamaan yang dapat digunakan untuk memperkirakan besaran kinerja yang terjadi berdasarkan periode pengamatan dan waktu siklus optimal yang dapat digunakan sebagai acuan praktis dalam perencanaan kontrol lalu lintas bersinyal di LPRJ tipe jalan dua lajur dua arah tak terbagi pada kondisi arus lalu lintas lewat jenuh.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Lokasi Penyempitan Ruas Jalan (LPRJ)

LPRJ adalah suatu segmen sebagai bagian dari ruas jalan yang ditutup pada sebagian lebar jalannya karena adanya suatu kegiatan di jalan. Pada umumnya LPRJ diakibatkan oleh kegiatan konstruksi atau perbaikan jalan, sehingga dapat dikatakan istilah lain untuk LPRJ adalah zona kerja (*work zone*).

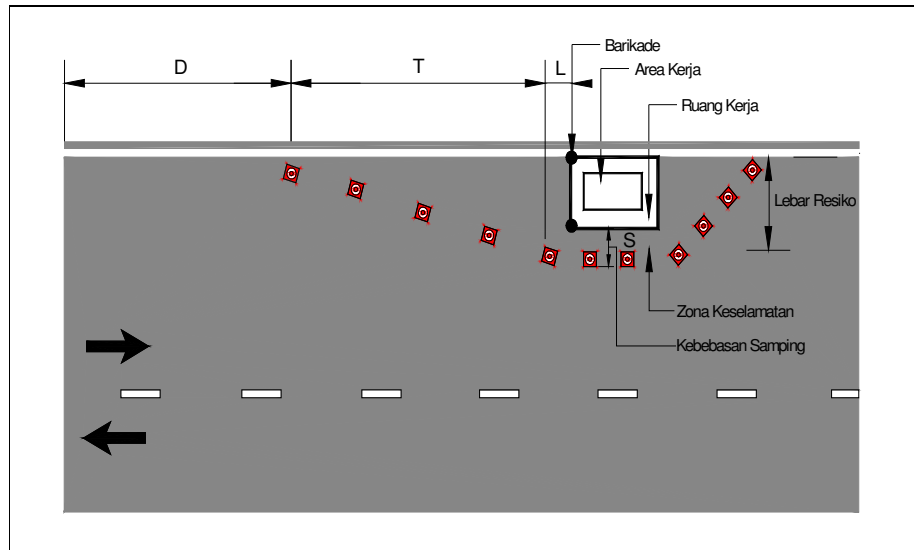
Zona Kerja (*Work Zone*)

Manual yang dikeluarkan oleh Inggris (*DTLR*, 2002) membagi bagian-bagian zona kerja sebagai berikut:

- a. Area kerja (*working area*) : adalah lokasi dimana pekerjaan berlangsung
- b. Ruang kerja (*working space*) : adalah ruang di sekitar lokasi kerja yang digunakan untuk menempatkan peralatan, material galian/timbunan, *batching plant*, dan lain lain. Ruang ini termasuk wilayah untuk sirkulasi pergerakan dalam bekerja.
- c. Zona keselamatan (*safety zone*) : adalah zona yang disediakan untuk melindungi pekerja dari lalu lintas dan juga melindungi kelancaraan lalu lintas dari pekerja. Wilayah ini tidak boleh dimasuki sepanjang berlangsungnya pekerjaan, dan dapat dimasuki hanya untuk kepentingan pemeliharaan/pemasangan kerucut lalu lintas dan rambu-rambu. Zona keselamatan meliputi:
 - Panjang taper (T), bervariasi sesuai dengan batas kecepatan dan luasan pekerjaan. Akhir taper selalu bersudut 45° terhadap garis kerb atau pinggir jalan.
 - Panjang ruang bebas (*clearance*) (L), merupakan panjang antara akhir taper masuk dari kerucut dan ruang kerja. Ini akan bervariasi tergantung dari batas kecepatan.
 - Kebebasan samping (S), merupakan ukuran dari batas terluar ruang kerja sampai ujung bagian kerucut dengan bagian terdekat lalu lintas. Ini akan

bervariasi tergantung dari batas kecepatan.

Tata letak zona kerja disajikan pada Gambar 2.1 dan dimensi zona keselamatan disajikan pada Tabel 2.1.



Gambar 2.1. Tata Letak Zona Kerja

Sumber: Code of Practice - Safety At Street Works And Road Works (DTLR,2002)

Sementara itu, definisi zona kerja di Amerika Serikat (NYSDOT, 2005) adalah jarak antara rambu-rambu peringatan yang pertama dengan titik di luar area kerja dimana lalu lintas tidak lagi terpengaruh. Gambaran masing-masing bagian zona kerja disajikan pada Gambar 2.2.

Kriteria panjang taper pada zona kerja ditentukan menurut lokasi zona kerja sebagai berikut:

- Taper Gabung (*merge taper/L*): jika satu lajur ditutup dan kendaraan pada lajur tersebut harus bergabung dengan lalu lintas pada lajur di sampingnya.
- Taper Perpindahan (*shifting taper/L/2*): bila terdapat penggunaan sebagian lajur namun tidak terjadi pengurangan jumlah lajur pergerakan
- Taper Bahu (*shoulder taper/L/3*): jika bahu tertutup untuk lalu lintas
- Satu lajur, Taper dua arah: jika satu lajur dari ruas jalan dua lajur dua arah ditutup untuk lalu lintas dan jika mengakibatkan operasi jalan bergantian pada satu lajur.

Tabel 2.1. Ukuran dan Jarak Pemasangan : Detail dari Rambu dan Dimensi Zona Keselamatan

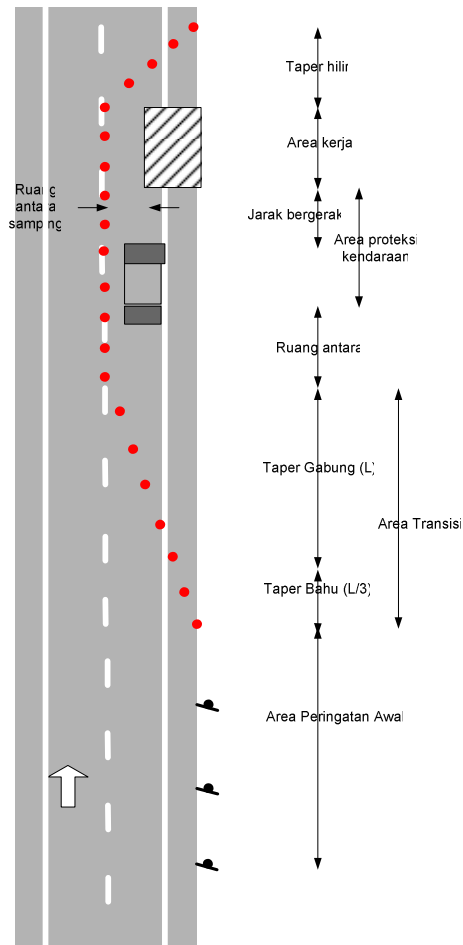
Tipe jalan	Jarak penempatan dari rambu pertama sampai awal masuk ke taper (D/meter)	Minimum pandangan bebas ke rambu pertama (meter)	Minimum ukuran dari rambu (mm)	Minimum tinggi kerucut (mm)	Zona keselamatan sisi jalan (S)	Panjang taper yang direkomendasikan	Lebar resiko (termasuk zona keselamatan/S) (meter)						
							1	2	3	4	5	6	7
Badan jalan tunggal, Kecepatan < 45 km/jam	20 sampai 25	60	600	450	0,5 m	Panjang taper (T) dalam meter	13	26	39	52	65	78	91
						Jumlah minimum kerucut	4	4	6	7	9	10	12
						Jumlah minimum lampu malam hari	3	3	5	6	8	9	11
Badan jalan tunggal, Kecepatan 46-60 km/jam	45 sampai 110	60	750	450	0,5 m	Panjang taper (T) dalam meter	24	40	60	80	100	120	140
						Jumlah minimum kerucut	4	6	8	10	13	15	17
						Jumlah minimum lampu malam hari	3	5	7	9	12	14	16
Seluruh badan jalan ganda, Kecepatan < 45 km/jam	110 sampai 275	60	750	450	0,5 m	Panjang taper (T) dalam meter	25	50	75	100	125	150	175
						Jumlah minimum kerucut	4	7	10	13	15	18	21
						Jumlah minimum lampu malam hari	3	6	9	12	14	17	20
Badan jalan tunggal, Kecepatan ≥ 60 km/jam	275 sampai 450	75	750	450	1,2 m	Panjang taper (T) dalam meter	25	50	75	100	125	150	175
						Jumlah minimum kerucut	4	7	10	13	15	18	21
						Jumlah minimum lampu malam hari	3	6	9	12	14	17	20
Seluruh badan jalan ganda, Kecepatan ≥ 45 km/jam	725 sampai 1600	105	1200	750	1,2 m	Panjang taper (T) dalam meter	32	64	96	128	160	192	224
						Jumlah minimum kerucut	5	9	12	16	19	23	26
						Jumlah minimum lampu malam hari	4	8	11	15	18	22	25

Batas kecepatan (km/jam)	45 atau kurang	60	75	90	115
Minimum panjang ruang bebas (L), meter	0,5	15	30	60	100

Sumber : Code of Practice - Safety At Street Works And Road Works (DTLR, 2002)

- Taper hilir: jika lalu lintas transisi kembali ke kondisi normal.

Standar panjang taper disajikan pada Tabel 2.2.



Gambar 2.2. Zona Kerja

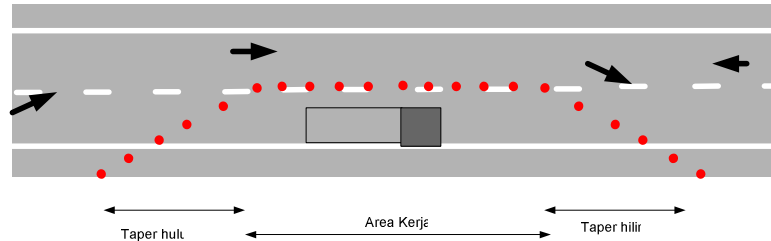
Sumber : New York State Department of Transportation/NYS DOT, 2005

Tabel 2.2. Standar Panjang Taper (L)

Lebar yang digunakan (meter)	kecepatan ke 85 pada ruas jalan (km/jam)								
	48	56	64	72	80	88	97	105	113
0.6	9	12	17	27	30	34	37	40	43
1.2	18	24	32	55	61	67	73	79	85
1.8	27	38	49	82	91	101	110	119	128
2.4	37	50	66	110	122	134	146	158	171
3.0	46	62	81	137	152	168	183	198	213
3.7	55	75	98	165	183	201	219	238	256

Sumber : New York State Department of Transportation/NYS DOT, 2005

Pada jalan dua lajur dua arah yang ditutup untuk lalu lintas dan mengakibatkan operasi jalan bergantian pada satu lajur, Taper hulu disarankan 15-30 meter, sedangkan taper hilir 30 meter seperti disajikan pada Gambar 2.3.



Gambar 2.3. Taper Pada Lalu Lintas Satu Lajur Dua Arah
Sumber : New York State Department of Transportation/NYS DOT, 2005

2.2. Pemilihan Kontrol Lalu Lintas Pada Zona Kerja

Manual yang dikeluarkan oleh Inggris (*DTLR*, 2002) juga memberikan standar metode kontrol lalu lintas yang harus dipilih untuk meminimalkan gangguan lalu lintas akibat keluar/masuk kendaraan kerja bergantung pada batas kecepatan yang diijinkan dan arus lalu lintas yang melewati jalan tersebut. Pemilihan metode kontrol lalu lintas disajikan pada Tabel 2.3.

Tabel 2.3. Pemilihan Metode Kontrol Lalu Lintas

Metode	Batas Kecepatan Maksimum (km/jam)	Panjang Pekerjaan (dari awal taper sampai akhir taper)	Arus Lalu Lintas (maksimum)	Catatan
Jalan Bergantian	40	≤ 50 meter	20 kend dalam 3 menit & 20 kendaraan berat per jam	Rambu
Prioritas	60	≤ 80 meter	42 kendaraan dalam 3 menit	Rambu
Papan Stop/Jalan	60	100 meter 200 meter 300 meter 400 meter 500 meter	70 kend / 3 menit 63 kend / 3 menit 53 kend / 3 menit 47 kend / 3 menit 42 kend / 3 menit	Perambuan [Konsultasi dengan pihak terkait bila berada dekat atau pada lokasi perlintasan sebidang dengan jalan KA]
Lampu lalu lintas Portabel	60	≤ 300 meter	Tidak ada batasan	Perambuan [Konsultasi dengan pihak terkait bila berada dekat atau pada lokasi perlintasan sebidang dengan jalan KA]
Rambu Stop- Ada Pekerjaan	60	Tidak ada batasan	Tidak ada batasan	Maks periode - 2 menit

Sumber : Code of Practice - Safety At Street Works And Road Works (*DTLR*, 2002)

Pada umumnya pengaturan lalu lintas bergantian secara manual dilakukan oleh dua orang petugas yang membawa bendera atau rambu papan berwarna merah yang berarti STOP dan hijau berarti JALAN. Namun demikian, petugas pengatur lalu lintas memiliki keterbatasan dalam pengambilan keputusan khususnya bila panjang pekerjaan semakin bertambah yang mengakibatkan jarak pandang terbatas dan volume lalu lintas kedua arah makin tinggi. Kesalahan dalam pengambilan keputusan akan menimbulkan peningkatan waktu tunggu atau tundaan yang dialami oleh kendaraan yang terindikasi dengan panjangnya antrian kendaraan.

Untuk mengatasi permasalahan di atas, maka pada kondisi tertentu pengaturan lalu lintas bergantian secara manual ini dapat digantikan oleh Alat Pemberi Isyarat Lalu Lintas (APILL) yang bersifat sementara atau dapat bersifat semi permanen apabila pekerjaan berlangsung cukup lama. Daniels Giner et al (2000) dalam penelitiannya memberikan usulan penambahan kriteria pada the Texas Manual on Uniform Traffic-Kontrol Devices (*TMUTCD*, 1996) tentang pemasangan APILL portabel untuk pekerjaan pada jalan dua lajur dua arah tidak hanya untuk pekerjaan jangka panjang, tetapi juga dengan waktu pendek.

Sementara itu, batasan kontrol lalu lintas pada LPRJ berdasarkan hasil simulasi yang dilakukan oleh Widjajanti E (2006) menyimpulkan antara lain:

1. Kriteria kontrol lalu lintas pada LPRJ yang berada di jalan dua lajur dua arah adalah seperti disajikan pada Tabel 2.4

Tabel 2.4. Kriteria Kontrol Lalu Lintas Pada LPRJ

panjang LPRJ (meter)	Arus lalu lintas (kend/jam)	kontrol lalu lintas
<80	<250	Rambu-rambu, prioritas
>80	250-800	Diatur secara bergantian secara manual atau APILL dengan flashing (lampu merah berkedip)
>80	>800	Diatur secara bergantian secara manual atau APILL dengan operasi penuh

Sumber : Widjajanti E, 2006

2. Persamaan untuk menghitung arus lalu lintas maksimum yang dapat dilayani untuk mendapatkan waktu tunggu 240 detik di perkotaan (dengan asumsi

proporsi kendaraan berat 20% dan sepeda motor 40%) adalah (Widjajanti E, 2006):

$$y = 3895.3 - 610x_1 + 21.35x_2 - 0.97x_3. \quad (2.1)$$

3. Sedangkan persamaan untuk menghitung arus lalu lintas maksimum yang dapat dilayani untuk mendapatkan waktu tunggu 240 detik di jalan luar kota (dengan asumsi proporsi kendaraan berat 30% dan sepeda motor 20%) adalah (Widjajanti E, 2006):

$$y = 3090.6 - 484.5x_1 + 17.23x_2 - 0.78x_3 \quad (2.2)$$

dimana:

y = Arus maksimum yang menghasilkan waktu tunggu maksimum (240 detik)

x_1 = Lebar zona kerja (meter)

x_2 = Kecepatan (km/jam)

x_3 = Panjang zona kerja (meter)

4. Berdasarkan hasil simulasi kontrol lalu lintas APILL pada lokasi studi kasus, menunjukkan bahwa APILL dengan operasi aktuasi lalu lintas/*traffic actuated* menghasilkan tundaan yang jauh lebih kecil dibandingkan dengan APILL dengan operasi waktu tetap/*pre-timed*. Tundaan untuk operasi waktu tetap berdasarkan data per 1 jam adalah 1,9 (satu koma sembilan) kali lebih besar dibanding operasi aktuasi lalu lintas.

2.3. Kontrol Lalu Lintas Bersinyal Pada LPRJ

2.3.1. Jenis Kontrol Lalu lintas Bersinyal Pada LPRJ

Karena sifatnya yang sementara, maka APILL yang dipasang pada LPRJ adalah APILL portabel. APILL portabel didesain untuk berbagai aplikasi pekerjaan di jalan, mulai dari instalasi jangka panjang pada jembatan dua lajur yang berkurang menjadi satu lajur selama pekerjaan konstruksi sampai kepada pekerjaan sementara yang bersifat jangka panjang. Dalam fungsinya untuk menggantikan petugas bendera, APILL portabel menggunakan indikasi sinyal warna hijau untuk menggantikan "JALAN", kuning untuk menyatakan waktu "JALAN" sudah habis dan merah untuk sama sekali dilarang melintasi zona kerja.

Beberapa jenis operasi kontrol lalu lintas bersinyal yang dapat dipilih untuk APILL portabel pada zona kerja, meliputi operasi sebagai berikut:

- a. Waktu Tetap (*Pre-timed*)
- b. Aktuasi Lalu Lintas (*Red Rest*)
- c. Aktuasi Lalu Lintas (Mengutamakan Arah tertentu)
- d. Aktuasi Lalu Lintas (Menggunakan waktu hijau minimum untuk kedua arah)
- e. Operasi secara Manual

a. Operasi Waktu Tetap (*Pretimed*)

Pada operasi ini, pengaturan APILL portabel ditetapkan berdasarkan waktu siklus yang terdiri atas waktu hijau yang diperlukan dan indikasi kuning pada kedua sisi zona kerja dan dua kali waktu *clearance* serta waktu antara (*buffer*). Dari siklus ke siklus, durasi waktu hijau tetap sama, tanpa memperhatikan kehadiran kendaraan pada antrian yang berhenti pada APILL. Waktu hijau awal untuk kedua pendekat ditetapkan berdasarkan pemahaman awal tentang jumlah dan variasi lalu lintas yang akan melintasi zona kerja. Operasi ini sesuai untuk volume lalu lintas yang dapat diperkirakan, baik pada intensitas rendah maupun tinggi, fluktuasi volume lalu lintas rendah.

b. Operasi Aktuasi Lalu Lintas (*Red Rest*)

Operasi APILL portabel pada mode aktuasi berhubungan dengan teknologi detektor yang digunakan untuk mengidentifikasi kehadiran kendaraan pada setiap pendekat zona kerja. Bentuk yang paling konservatif dari kontrol aktuasi adalah APILL memberikan indikasi merah untuk kedua pendekat sampai detektor mendeteksi kehadiran kendaraan. Jika waktu *clearance* sudah habis (yaitu kendaraan yang dilayani pada fase sebelumnya telah melintas dengan selamat), setiap kendaraan yang mendekati sinyal akan menerima indikasi hijau. Jika hanya satu kendaraan yang terdeteksi, waktu hijau yang diberikan sebesar waktu hijau minimum, kemudian terjadi transisi controller sinyal ke interval *clearance* kuning sebelum kembali menjadi merah. Jika lebih dari satu kendaraan berada pada antrian pada saat awal indikasi hijau, deteksi kendaraan multipel akan menghasilkan perpanjangan waktu hijau, dimana batas atas waktu hijau adalah waktu hijau maksimum.

Jika detektor mendeteksi sebuah kendaraan datang dari arah yang sama dengan kendaraan yang baru mendapatkan waktu hijau (akan tetapi controller telah kembali ke kondisi merah), *controller* akan segera memberikan waktu hijau bagi kendaraan yang mendekat. Serial kejadian ini tidak terjadi pada kendaraan kedua yang mendekati zona kerja dari arah lawan, karena Controller akan menunggu kendaraan pertama selesai melintasi zona kerja sebelum memberikan indikasi hijau bagi kendaraan dari arah lawan.

c. Operasi Aktuasi Lalu Lintas (Mengutamakan Satu Arah)

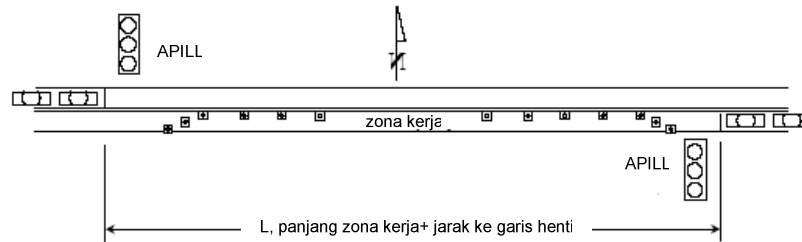
APILL diatur kembali ke hijau untuk pendekat dengan volume lalu lintas yang lebih tinggi, dan merah pada pendekat yang berlawanan, yang memiliki volume lalu lintas lebih rendah. Pada moda ini, controller APILL memberi indikasi hijau untuk pendekat dengan volume lalu lintas lebih tinggi, dan memberikan sinyal hijau pada pendekat lawan bila detektor pada pendekat lawan mendeteksi kehadiran satu kendaraan pada pendekat lawan tersebut. Jika lebih dari satu kendaraan antri pada pendekat lawan yang memiliki volume lebih rendah, waktu hijau pada pendekat ini dapat diperpanjang sampai waktu hijau maksimum.

d. Operasi Aktuasi Lalu Lintas (*Recall* ke Hijau Minimum Untuk Kedua Arah)

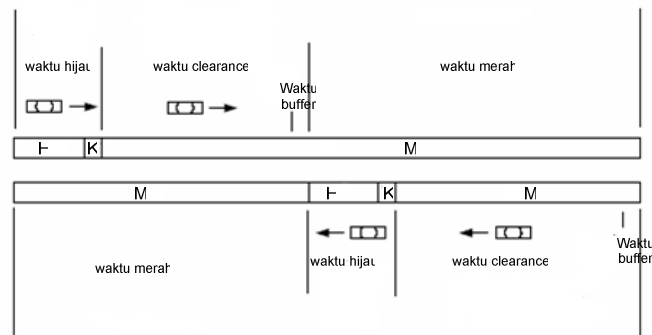
Controller APILL portabel juga dapat diatur untuk memberikan waktu hijau minimum, kuning dan waktu *clearance* merah untuk setiap pendekat. Mode bekerja hampir sama seperti operasi *pretimed*, tetapi waktu hijau pada setiap pendekat dapat diperpanjang jika terdapat banyak kendaraan menunggu pada pendekat tersebut. Seperti pada operasi aktuasi yang lain, batas atas waktu hijau untuk setiap pendekat yaitu waktu hijau maksimum, menjaga adanya antrian kendaraan panjang pada satu pendekat yang menahan waktu hijau terlalu panjang dan menyebabkan tundaan yang tidak dapat diterima terhadap lalu lintas pada pendekat lawan.

2.3.2. Komponen Waktu Siklus

Gambar 2.4. dan Gambar 2.5. menunjukkan instalasi APILL dan komponen waktu siklus pada kedua pendekat.



Gambar 2.4. Instalasi APILL Pada Zona Kerja



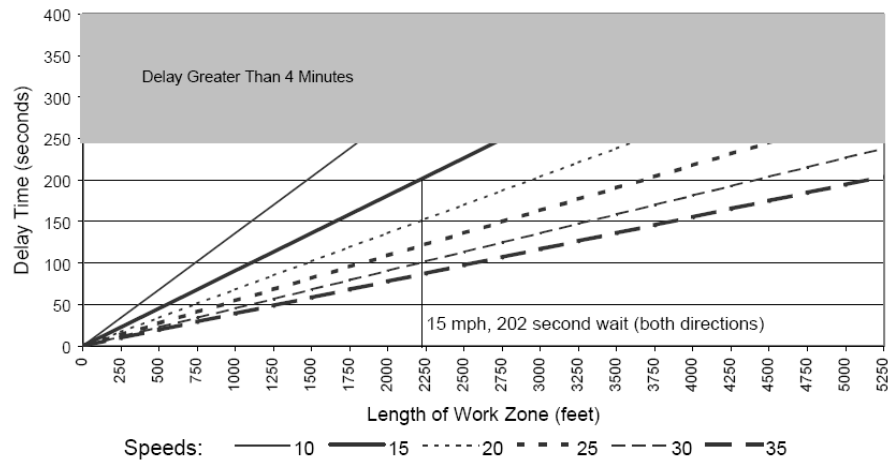
Gambar 2.5. Komponen Waktu Siklus Kontrol Lalu Lintas Bersinyal pada Zona Kerja

Parameter utama penentuan waktu siklus pada lokasi zona kerja adalah:

- Panjang zona kerja
- Jumlah dan jenis kendaraan yang datang pada kedua pendekat
- Kecepatan pada setiap pendekat
- Waktu tunggu maksimum pengguna kendaraan bermotor
- Rentang kecepatan pada zona kerja
- Waktu buffer yang digunakan untuk memisahkan lalu lintas yang dilepaskan dengan lalu lintas yang datang.

a. Waktu Tunggu Maksimum

Gambar 2.6. menunjukkan bahwa berdasarkan studi empiris, batas maksimum waktu tunggu adalah sekitar empat menit Daniels G et al (2000). Bila menggunakan operasi *traffic actuated* maka angka tersebut merupakan dasar dalam menghitung waktu hijau maksimum.



Gambar 2.6. Pengaruh Kecepatan dan Panjang Zona Kerja Terhadap Waktu Tunggu Maksimum. Sumber : Daniels G et al (2000)

Waktu hijau maksimum dan waktu *clearance* kuning pada arah berlawanan dan dua waktu *buffer* juga harus diperhitungkan dalam menghitung waktu tunggu maksimum.

$$\text{Maksimum waktu tunggu pendekat 1: } Y_1 + R_{a1} + G_{2\max} + Y_2 + R_{a2} \quad (2.3)$$

$$\text{Maksimum waktu tunggu pendekat 2: } Y_1 + R_{a1} + G_{1\max} + Y_2 + R_{a2} \quad (2.4)$$

dimana:

Y_1, Y_2 = Waktu *clearance* kuning pendekat satu, dua, , detik

R_{a1}, R_{a2} = Waktu *clearance* merah untuk pendekat satu dan dua, detik

$G_{1\max}$ = Waktu hijau maksimum pada pendekat satu, detik

$G_{2\max}$ = Waktu hijau maksimum pada pendekat dua, detik

b. Waktu Hijau (Waktu Tetap) atau Waktu Hijau Maksimum (Aktuasi)

Waktu hijau yang diberikan ke setiap pendekat ditentukan berdasarkan perkiraan jumlah kendaraan yang datang sepanjang siklus. Hal yang perlu menjadi perhatian dalam penentuan waktu hijau maksimum adalah apabila mungkin waktu tunggu maksimum adalah 240 detik.

c. Waktu Hijau Minimum (*Operasi Actuated*)

Jika beroperasi *actuated*, sangat penting untuk ditentukan waktu hijau minimum, atau waktu indikasi hijau terkecil yang akan diberikan pada setiap pendekat. Waktu ini paling tidak merupakan waktu yang diperlukan oleh satu atau dua kendaraan untuk secara aman melintasi zona kerja.

d. Interval Ekstensi (*Operasi Actuated*)

Jika beroperasi *actuated*, juga diperlukan untuk menentukan interval ekstensi, atau jumlah waktu hijau yang ditambahkan terhadap fase waktu hijau yang aktif setiap interval waktu tertentu dimana kendaraan yang datang dideteksi.

e. Interval Perubahan waktu Kuning

Indikasi kuning selalu digunakan pada operasi normal untuk menghentikan indikasi hijau dan menginformasikan pengguna kendaraan bermotor bahwa terjadi perubahan hak pergerakan (*right of way*). Persamaan untuk menghitung interval perubahan kuning adalah:

$$y = t + \frac{v}{2a + 2Gg} \quad (2.5)$$

dimana

- y = Panjang interval waktu kuning , detik
- t = Waktu persepsi/reaksi pengemudi, disarankan 1 detik
- v = Kecepatan kendaraan datang, dalam m/detik
- a = Angka perlambatan, disarankan 3 m/detik²
- G = Percepatan, sebesar gaya gravitasi 10 m/detik²
- g = Kemiringan pendekat (0,02 atau 2%, bila turunan bernilai negatif)

f. Interval *Clearance* Merah

APILL protabel menimbulkan interval *clearance* merah, atau periode *all red* untuk mengijinkan kendaraan yang telah memasuki area zona kerja pada indikasi hijau atau kuning dapat melintas dengan aman dan keluar dari zona kerja. Indikasi merah diberikan terhadap lalu lintas kedua arah pendekat. Kecepatan yang digunakan untuk menghitung interval *clearance* merah akan bergantung pada sejumlah faktor, termasuk lokasi dan panjang zona kerja, perlambatan pada zona kerja, dan/atau rambu peringatan, kecepatan pada fasilitas dan durasi dan

jenis pekerjaan konstruksi. Persamaan berikut menggunakan kecepatan pada zona kerja dan panjang zona kerja untuk menghitung waktu tempuh melintasi zona kerja.

$$TT = \frac{3,6.L}{v} \quad (2.6)$$

dimana

TT = Waktu tempuh, detik

L = Panjang zona kerja, meter

V = Kecepatan kendaraan terendah yang mungkin pada zona kerja, km/jam

Interval *clearance* merah = waktu tempuh melintasi zona kerja + waktu buffer

g. Waktu Buffer

Waktu *buffer* adalah waktu keselamatan yang menggaransi bahwa kendaraan yang memasuki atau meninggalkan zona kerja pada arah yang berlawanan dipisahkan secara waktu. Waktu *buffer* ditetapkan berdasarkan pertimbangan teknis dan perilaku pengguna jalan.

h. Operasi Merah Berkedip

Pada APILL portabel yang digunakan untuk zona kerja yang panjang, tidak dimungkinkan untuk melihat sinyal dan lalu lintas yang menunggu pada pendekat yang lain dari zona kerja, atau lalu lintas yang sedang melintasi zona kerja dari arah yang berlawanan. Pada kondisi ini, diberikan merah berkedip bagi kendaraan untuk merasakan apakah zona kerja sudah bersih dan aman untuk dilintasi.

2.4. Perencanaan Kontrol Lalu Lintas Pada Kondisi Arus Lalu Lintas Lewat Jenuh

Persimpangan bersinyal seringkali mengalami kondisi lewat jenuh (*oversaturated*) yang disebabkan oleh variasi arus lalu lintas yang bersifat spasial dan temporal. Pada kondisi lewat jenuh, model *steady-state* tidak dapat digunakan bila kedatangan kendaraan melebihi kapasitasnya. Pada kondisi ini diperlukan pelayanan untuk mengatasi antrian dari satu siklus ke siklus yang lain. Rancangan waktu kontrol lalu lintas untuk lalu lintas lewat jenuh lebih rumit dibandingkan dengan lalu lintas tidak jenuh.

Model matematis dengan variabel kontrol untuk perencanaan waktu sinyal pada kondisi lewat jenuh sudah dilakukan oleh beberapa peneliti. Beberapa diantaranya yang menggunakan pendekatan semi grafis adalah Gazis (1964) dan Gazis & Pott (1965). Sementara Chang & Lin (2000) dan Chang & Sun (2004) mengembangkan model diskrit dinamis dan pendekatan indeks kinerja untuk mengoptimasi parameter sinyal selama periode kondisi lewat jenuh.

Gazis (1964) mendefinisikan persimpangan dengan arus lewat jenuh sebagai persimpangan dimana gabungan tingkat kedatangan dari dua atau lebih pergerakan melebihi gabungan tingkat pelepasan kendaraan (*throughput*), sehingga akan membentuk antrian yang harus ditangani.

Gazis juga menurunkan formula optimasi yang didapat berdasarkan kriteria tundaan minimum didapatkan berhubungan dengan perpindahan dari pelayanan maksimum ke minimum dari salah satu arah dan dari minimum ke maksimum pada arah yang lain. Dengan memisalkan sebuah persimpangan melayani dua pergerakan dengan variasi waktu pada tingkat kedatangan $q_1(t)$, maka kondisi yang memenuhi untuk kondisi lewat jenuh adalah:

$$\frac{q_1}{s_1} + \frac{q_2}{s_2} > 1 - \left(\frac{L}{c}\right) \quad (2.7)$$

dimana

- s_1, s_2 = Arus jenuh fase 1 dan fase 2
- c = Waktu siklus, detik
- L = Waktu hilang per siklus, detik

Fungsi akumulasi kedatangan dan akumulasi pelepasan dinyatakan sebagai berikut:

$$Q_i(t) = \int_0^t q_i(t).dt$$

$$G_i(t) = \int_0^t \gamma_i(t).dt \quad (2.8)$$

dimana

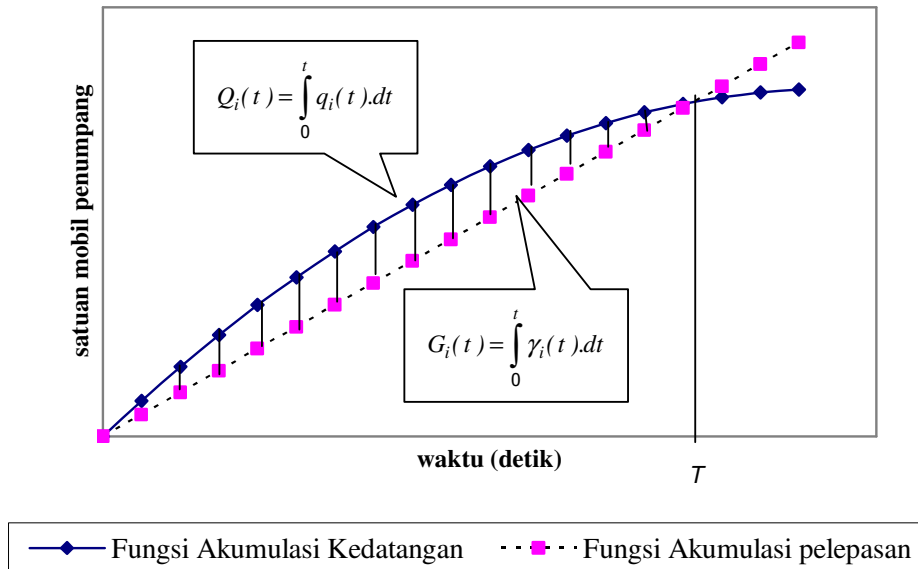
- $Q_i(t)$ = Fungsi akumulasi kedatangan
 $G_i(t)$ = Fungsi akumulasi pelepasan (pelayanan)
 q_i = Tingkat kedatangan per satuan waktu, smp/jam
 T = Periode waktu lewat jenuh, detik
 γ_i = Tingkat pelepasan kendaraan pada fase i , smp/jam

Luas diantara kurva $Q_i(t)$ dan $G_i(t)$ pada Gambar 2.7 menunjukkan besarnya tundaan total yang dialami kendaraan selama periode waktu lewat jenuh, dimana $G_i(t) < Q_i(t)$.

Tingkat pelepasan kendaraan dinyatakan dengan rumus berikut:

$$\gamma_i = \frac{g_i s_i}{c} \quad (2.9)$$

$$g_i = \frac{\gamma_i \cdot c}{s_i} \quad (2.10)$$



Gambar 2.7. Tundaan Total Selama Perioda Lewat Jenuh

Permasalahan dalam melakukan optimasi kinerja APILL pada kondisi lewat jenuh pada persimpangan sederhana dengan 2 (dua) pergerakan utama diuraikan oleh Gazis sebagai berikut:

- Terdapat 2 (dua) *demand* yang berkompetisi untuk dilayani oleh APILL
- Tingkat pelepasan merupakan variabel kontrol dan ditentukan oleh pembagian waktu hijau dari durasi efektif yang tersedia diantara 2 (dua) pergerakan.
- Untuk alasan praktis, pembagian waktu pada setiap siklus bervariasi antara batas atas dan batas bawah. Hal ini terjadi karena akan banyak waktu yang terbuang bila waktu hijau terlalu pendek dan sebaliknya bila waktu hijau terlalu panjang, secara psikologis akan mengakibatkan kebosanan.

Kenyataan yang sering terjadi adalah lampu merah yang melebihi nilai maksimum, menimbulkan persepsi bagi pengguna jalan bahwa telah terjadi kerusakan pada APILL, sehingga pengguna jalan cenderung mengabaikan sinyal APILL. Karena itu, Gazis memperkenalkan suatu wilayah kontrol yang mengatur durasi waktu hijau berada pada suatu wilayah waktu hijau efektif minimum

(g_{\min}) dan waktu hijau efektif maksimum (g_{\max}). Waktu hijau g_i dapat bervariasi antara batas atas dan batas bawah dari waktu hijau.

$$g_{\min} \leq \frac{\gamma_i \cdot c}{s_i} \leq g_{\max} \quad i = 1, 2 \quad (2.11)$$

dimana :

g_{\min} = Waktu hijau efektif minimum, detik

g_{\max} = Waktu hijau efektif maximum, detik

Tingkat pelepasan gabungan ($\gamma_1 + \gamma_2$) juga bervariasi di antara 2 nilai ekstrim. Variasi waktu hijau di atas menyebabkan tingkat pelepasan gabungan juga bervariasi di antara dua ekstrim. Bila diasumsikan $s_1 > s_2$, maka nilai $\gamma_1 + \gamma_2$ berada pada rentang:

$$\frac{(s_1 g_{\min} + s_2 g_{\max})}{c} \leq (\gamma_1 + \gamma_2) \leq \frac{(s_1 g_{\max} + s_2 g_{\min})}{c} \quad (2.12)$$

dimana

g_1, g_2 = Waktu hijau actual dari fase 1 dan fase, detik

γ_1, γ_2 = Tingkat pelepasan kendaraan pada fase 1 dan fase 2, detik

Setiap strategi pelayanan harus memenuhi persamaan berikut:

$$\frac{\gamma_1(t)}{s_1} + \frac{\gamma_2(t)}{s_2} \leq 1 - \left(\frac{L}{c} \right) \quad (\text{konstan}) \quad (2.13)$$

Fungsi tundaan minimum menjadi:

$$D = \sum_{i=1}^2 \int_0^T [Q_i(t) - G_i(t)] dt \quad (2.14)$$

dimana:

$$G_i(t) = \int_0^t \gamma_i(t) dt \quad (2.15)$$

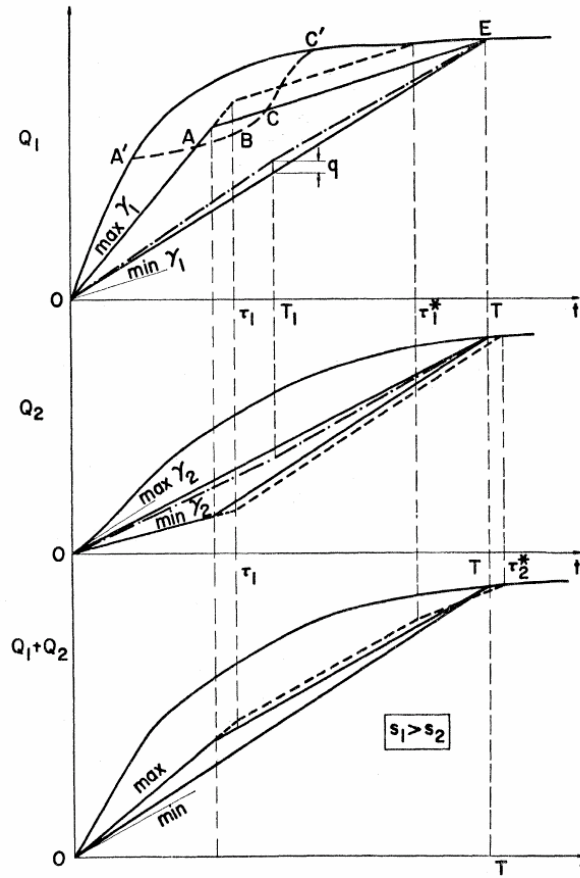
$$g_{\min} \leq \frac{\gamma_i \cdot c}{s_i} \leq g_{\max} \quad (2.16)$$

$$\frac{(s_1 g_{\min} + s_2 g_{\max})}{c} \leq (\gamma_1 + \gamma_2) \leq \frac{(s_1 g_{\max} + s_2 g_{\min})}{c}$$

Persamaan dengan batas waktu T didefinisikan sebagai :

$$G_i(T) = Q_i(T) \quad i = 1,2 \quad (2.17)$$

Pada waktu T , kapasitas dari pelayanan melampaui kedatangan, sehingga periode lewat jenuh berakhir (Gambar 2.8).



Gambar 2.8. Kontrol Optimal Persimpangan Tunggal Dua Pergerakan dengan Arus Jenuh berbeda. Sumber : Gazis (1964)

Untuk menentukan titik perubahan, Gazis (1964) mengasumsikan kurva kedatangan pada periode jenuh adalah mendekati garis lurus seperti Gambar 2.9. dengan persamaan :

$$Q_i(t) = A_i + B_i t \quad (2.18)$$

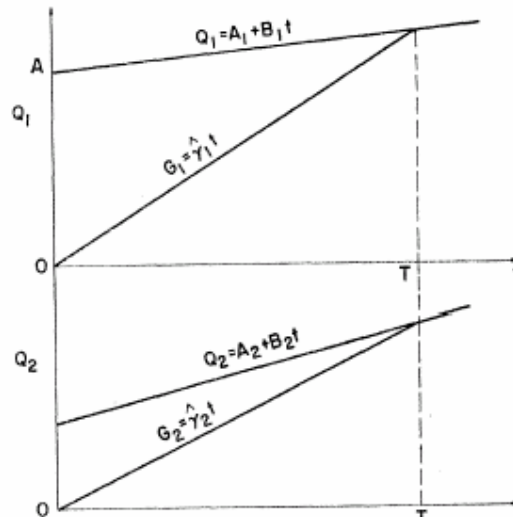
$$\gamma_i T = Q_i T \quad (i = 1,2) \quad (2.19)$$

sehingga,

$$T = \frac{(A_1 s_1 + A_2 s_2)}{[-(B_1 s_2 + B_2 s_1) + s_1 s_2 (1 - L/c)]}, \quad (2.20)$$

$$\gamma_1 = \frac{s_1 [(B_1 A_2 - B_2 A_1) + A_1 s_2 (1 - L/c)]}{(A_1 s_2 + A_2 s_1)}$$

$$\gamma_2 = \frac{s_2 [(B_2 A_1 - B_1 A_2) + A_2 s_1 (1 - L/c)]}{(A_1 s_2 + A_2 s_1)}$$



Gambar 2.9. Penentuan Akhir Periode Lewat Jenuh Dengan Asumsi Kurva Kumulatif Kedatangan Asimtotis Linier

Sekarang duasumsikan bahwa γ_i , yang didapat dari persamaan (2.19) berada pada rentang yang ditentukan persamaan (2.16).

Strategi pengaturan tunggal bukan satu-satunya yang menghabiskan kedua antrian pada waktu yang sama T , tidak juga mengandung kontrol, yang meminimumkan tundaan agregat. Kurva pelayanan multi tahap direncanakan dengan bentuk yang disederhanakan berupa garis lurus yang berhubungan dengan setting tunggal, kesemuanya menghabiskan kedua antrian pada waktu T . Menurut Gazis (1964), pengurangan tundaan agregat dapat dicapai dengan melakukan 'trade off' beberapa tundaan untuk arus utama, yaitu satu berhubungan dengan arus jenuh maksimum s_1 , untuk besaran tundaan yang lebih kecil untuk arus yang lain. Strategi optimum yang tetap melayani kedua antrian diselesaikan pada waktu

T secara umum berhubungan dengan operasi dua tahap (Gambar 2.7). 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. Titik pergantian (switch over point) diberikan dengan persamaan:

$$\tau = \frac{[(c/s_1)Q_1(T) - g_{\min}T]}{(g_{\max} - g_{\min})} \quad (2.21)$$

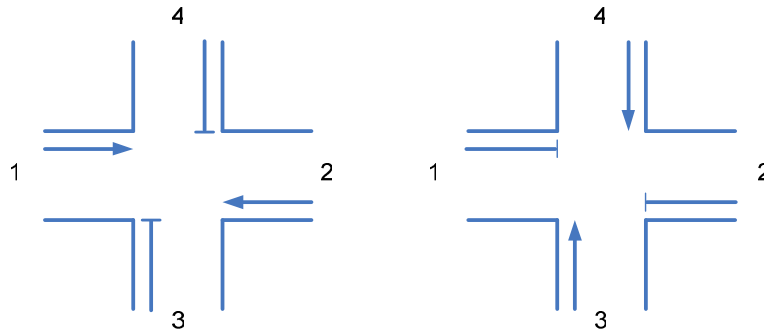
2.4.1. Model Optimasi Diskrit Dinamis (Chang & Lin, 2000)

Metode Optimasi Diskrit Dinamis melanjutkan penelitian Michalopoulos and Stephanopolos (1977, 1978) yang memperkenalkan metode dua tahap yang efisien, yang disebut '*bang-bang control*' untuk mengontrol sinyal dimana metode tersebut berusaha untuk mendapatkan titik perubahan (*bang-bang control*) yang optimal selama periode lewat jenuh. Metode ini bertujuan untuk memastikan waktu hijau tidak hilang pada setiap siklus selama periode kondisi arus lalu lintas lewat jenuh. Jenis kontrol ini akan berhenti bila antrian pada kedua pendekat telah habis dilewatkan. Misalnya, pada tahap pertama, prosedur mengatur waktu hijau maksimum pada pendekat yang memiliki angka kedatangan maksimum dan waktu hijau minimum pada pendekat yang memiliki angka kedatangan minimum.

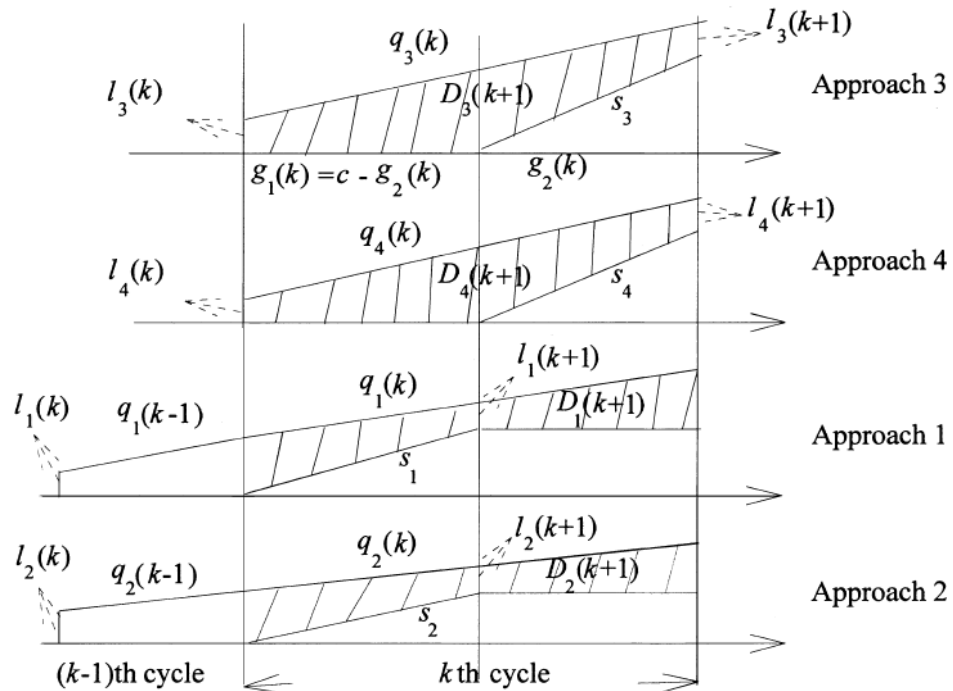
Pada titik perubahan (*switch-over point*), waktu hijau maksimum diberikan pada pendekat yang memiliki angka kedatangan minimum dan waktu hijau minimum pada pendekat yang memiliki angka kedatangan maksimum. Model kontinyu terbatas pada kondisi bahwa titik pergantian tidak perlu terjadi sampai akhir periode lewat jenuh. Untuk mengakomodasi kondisi tersebut, Chang (2000) memperkenalkan pendekatan dengan menghitung tundaan lebih sesuai untuk menghitung waktu siklus optimal dan menentukan waktu hijau optimal. Chang menyatakan bahwa model tundaan murni tidak efektif dalam mencari siklus optimal sehingga menyarankan penggunaan Model *Performance Index (PI)* dalam penyelesaian kontrol lalu lintas pada kondisi lewat jenuh.

Gambaran kondisi lewat jenuh pada persimpangan empat kaki dengan kontrol sinyal 2 fase disajikan pada Gambar 2.10. Antrian dan tundaan yang

terjadi disajikan pada Gambar 2.11. Kondisi pada Gambar 2.11 menunjukkan bahwa selalu terdapat antrian yang tersisa sebelum periode lewat jenuh diakhiri.



Gambar 2.10. Persimpangan Empat kaki Dengan Kontrol Sinyal 2 Fase



Gambar 2.11. Antrian dan Tundaan Pada Persimpangan Empat kaki Dengan Kontrol Sinyal 2 Fase. Sumber: Chang & Lin (2000)

Keterangan gambar :

c	: Waktu siklus
l_i	: Panjang antrian dari pendekat atau pergerakan i
$l(k)$: Panjang antrian pada awal siklus k
$l_i(k+1)$: Panjang antrian dari pendekat atau pergerakan i siklus k , sama dengan panjang antrian pada pendekat atau pergerakan i pada awal siklus $k+1$
q	: Arus kedatangan
$q(k)$: Arus kedatangan pada siklus k
$q_i(k)$: Arus kedatangan pada pendekat atau pergerakan i siklus k
D	: Tundaan total dalam 1 siklus
$D(k)$: Tundaan total dalam siklus k
a_j	: Jumlah lajur dari pendekat atau pergerakan i

Model *Performance Index (PI)* yang dikembangkan mengakomodasi performance index dari dari kontrol sinyal yaitu :

$$PI = D + KF \quad (2.22)$$

yang diaplikasikan ke model tundaan diskrit minimal menjadi:

$$PI(k+1) = PI(k) + Bu(k) + Z(k) \quad (2.23)$$

dimana

PI	: <i>Performance Index</i>
B	: <i>the control gain</i>
$PI(k)$: <i>Performance Index</i> pada kondisi k
$PI_i(k)$: <i>Performance Index</i> pada pendekat atau pergerakan i , kondisi k
$u(k)$: Variabel kontrol pada kondisi k
$W_i(k)$: Variabel eksogen pada pendekat atau pergerakan i , kondisi k
$Z(k)$: Variabel eksogen pada pendekat atau pergerakan i , kondisi k

Pada awalnya, fungsi obyektif ditetapkan hanya untuk meminimumkan tundaan total sepanjang periode lewat jenuh. Fungsi tersebut dibebankan dalam bentuk kuadrat sebagai berikut:

$$\text{MIN } J = \frac{1}{2}(D(N))^2 + \frac{1}{2} \sum_{k=2}^N (D(k))^2 \quad (2.24)$$

dimana, N kondisi terminasi dari periode lewat jenuh dan D adalah tundaan total dalam 1 waktu siklus.

Model *performance index* berbeda dalam beberapa hal dengan model tundaan minimum diskrit. Pada model ini waktu hijau optimal mungkin tidak berada pada batasan yang diberikan. Walaupun hasil tersebut jarang dijumpai, tapi mungkin terjadi pada kondisi lewat jenuh (hasil sangat bergantung pada faktor K). Hal ini menunjukkan mengapa *bang-bang like control* digunakan sebagai model kontrol untuk menggantikan *bang-bang control* yang sesungguhnya.

Penelitian Chang & Lin (2000) ini menyimpulkan beberapa hal, sebagai berikut:

1. Model *Performance Index* lebih sesuai untuk diterapkan pada perencanaan waktu kontrol lalu lintas pada arus jenuh dan memiliki kinerja yang lebih baik dibandingkan model tundaan minimum.
2. Model diskrit lebih mudah diaplikasikan dari pada model kontinyu. Pada model kontinyu dapat menimbulkan tidak terjadinya titik perubahan (*switch-over point*) sampai pada akhir siklus, sedangkan pada model diskrit, terjadinya titik perubahan sangat berkaitan dengan kondisi persimpangan.
3. Tidak seluruh waktu siklus dapat diaplikasikan untuk kontrol lalu lintas bersinyal pada kondisi arus lewat jenuh.

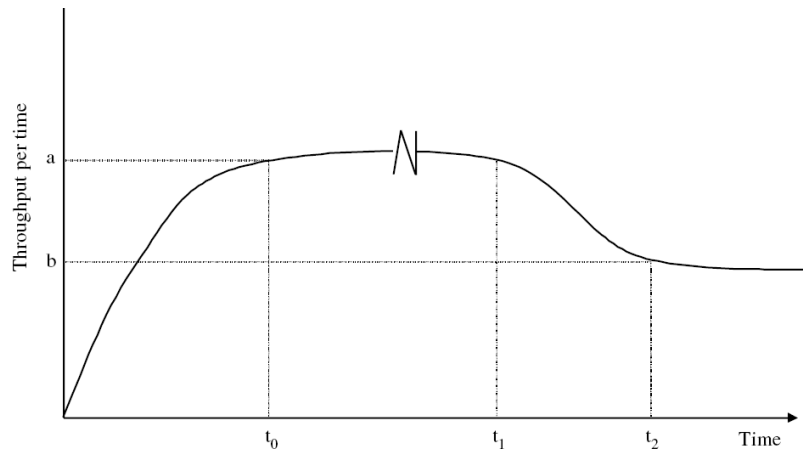
2.4.2. Metode Memaximumkan Rata-rata Tingkat Pelepasan Kendaraan/ *Average Throughput* (Talmor & Mahalel, 2007)

Tujuan dari metode ini adalah memaximumkan total *throughput* selama periode lewat jenuh. Rata-rata kapasitas dan rata-rata *throughput* digunakan sebagai kriteria desain untuk sinyal. Kapasitas membatasi *throughput* dan waktu siklus yang pendek menyebabkan perbedaan dalam nilai rata-rata untuk pengurangan. Studi ini menggunakan beberapa terminologi khusus, antara lain:

1. *Applied discharge flow* / arus pelepasan

Arus pelepasan pendekat adalah jumlah kendaraan yang secara riil dilepaskan dari antrian pada pendekat yang sangat panjang (tidak terbatas). Pola arus pelepasan berubah sesuai fungsi waktu: arus yang terbentuk sampai mencapai angka maksimum (yaitu arus jenuh), bertahan pada angka ini sementara waktu,

kemudian berkurang/menurun ke angka yang lebih rendah sementara terjadi proses penyebaran.



Gambar 2.12. Fungsi *adf* (Applied discharge-flow)
Sumber : Talmor & Mahalel (2007)

2. Throughput

Adalah angka aktual kendaraan per satuan waktu yang dapat melintasi persimpangan sesuai rencana sinyal. Nilainya sama dengan arus pelepasan dari fase selama waktu hijau setiap fase. Selama waktu hilang, nilainya sama dengan nol. *Throughput* siklus adalah integral *total throughput* pada siklus tertentu dan *throughput* rata-rata adalah *throughput* siklus dibagi waktu siklus

3. Periode lewat jenuh

Adalah waktu interval dimana pendekat mengalami kejenuhan untuk setiap rencana sinyal praktis. Fungsi obyektif dari model yang dibangun adalah memaksimalkan total *throughput* selama periode lewat jenuh T . Model dibangun berdasarkan beberapa asumsi, yaitu :

- a. antrian panjang dapat ditampung di persimpangan
- b. program fase telah ditentukan (*predetermined*)
- c. Selama periode macet, seluruh fase dalam kondisi lewat jenuh, dan setiap antrian dilepaskan menurut fungsi *adf*nya.
- d. Setiap fase m menerima lampu hijau pada setiap siklus dengan durasi sebesar nilai maksimum dari t_{0m} dan g_{\min} .
- e. fungsi *adf* dari fase yang berbeda adalah independen

Fungsi obyektif adalah hasil dari perkalian throughput siklus dengan jumlah siklus pada periode T , yaitu:

$$\frac{T}{c} \sum_{m=1}^M \int_0^{g_m} \gamma_m(t) dt$$

dimana

$$c = L + \sum_{m=1}^M g_m \quad (2.25)$$

$$A = \sum_{m=1}^M \int_0^{g_m} \gamma_m(t) dt$$

dimana

- M : Jumlah fase
- T : Periode lewat jenuh
- $\gamma_m(t)$: Nilai arus pelepasan fase m pada waktu t
- L : total waktu hilang per siklus
- t_{oj} : Waktu yang diperlukan arus fase j mencapai nilai maksimum
- g_{\max} : Durasi waktu hijau efektif maksimum
- g_{\min} : Durasi waktu hijau efektif minimum
- c : Waktu siklus
- g_j : Durasi waktu hijau fase j
- \bar{g} : Vektor waktu hijau efektif total, $\bar{g} = (g_1, g_2)$
- \bar{g}^k : Vektor waktu hijau efektif total pada iterasi k , atau $\bar{g}^k = (g_1^k, g_2^k)$
- $\psi(\bar{g})$: Rata-rata *throughput* for \bar{g} assignment
- δ : Nilai ambang batas (threshold)

T adalah parameter konstan, sehingga memaksimumkan ekspresi di atas adalah ekivalen dengan memaksimumkan *throughput* rata-rata $\Psi(\bar{g})$

$$\Psi(\bar{g}) = \frac{\sum_{m=1}^M \int_0^{g_m} \gamma_m(t) dt}{C} \quad (2.26)$$

Persamaan 2.29 adalah fungsi obyektif. Ketika seluruh fungsi adf adalah kontinyu dan dapat diturunkan, titik optimum dapat ditentukan langsung dengan membebaskan nilai 0 ke gradiennya.

$$\Psi(\bar{g}) = \frac{\sum_{m=1}^M \int_0^{g_m} \gamma_m(t) dt}{(L + \sum_{m=1}^M g_m)} \quad (2.27)$$

$$\frac{\partial \Psi}{\partial g_j} = \frac{\gamma_j(g_j)(L + \sum_{m=1}^M g_m) - \sum_{m=1}^M \int_0^{g_m} \gamma_m(t) dt}{(L + \sum_{m=1}^M g_m)^2} \quad (2.28)$$

$$= 0, \quad \forall j = 1, \dots, M$$

Setelah melalui manipulasi aljabar, solusi yang didapat untuk menentukan durasi g_j^* dari fase j :

$$\gamma_j(g_j^*) = \frac{\sum_{m=1}^M \int_0^{g_m^*} \gamma_m(t) dt}{L + \sum_{m=1}^M g_m^*} = \Psi(\bar{g}^*), \quad \forall = 1, 2, \dots, M \quad (2.29)$$

Talmor dan Mahalel mencatat bahwa diperlukan periode waktu hijau lebih lama untuk menyeimbangkan hilangnya *throughput* pada persimpangan dengan waktu hilang yang pendek. Dari sudut pandang produktivitas, dapat disimpulkan bahwa waktu hilang yang panjang menurunkan tendensi untuk memberhentikan lampu hijau.

2.4.3. Kajian Perbandingan Model Dan Arahkan Metode Penelitian

Talmor & Mahalel (2007) membandingkan kinerja model *Throughput* maksimum dengan model Optimasi Diskrit Dinamis yang bertujuan meminimumkan tundaan dengan menggunakan data yang sama dengan contoh data yang digunakan oleh Chang & Lin (2000).

Contoh persimpangan adalah persimpangan dengan dua ruas jalan satu arah dengan kontrol dua fase dan tidak ada gerakan berbelok. Pendekat 1 memiliki arus jenuh 1400 kendaraan/jam, sementara pendekat 2 memiliki arus jenuh 1000 kendaraan/jam. Waktu siklus ditetapkan 150 detik, tidak ada waktu yang hilang. Batasan waktu hijau adalah : $g_{1max}=0.65C$, $g_{1min} =0.4C$, $g_{2max} =0.6C$, dan $g_{2min} =0.35C$.

Tabel 2.5. Data Kedatangan Kendaraan Kumulatif

Waktu Detik	kedatangan kumulatif kendaraan		waktu detik	kedatangan kumulatif kendaraan	
	approach 1	approach 2		approach 1	approach 2
	300	121		86	2400
600	205	147	2700	492	352
900	268	192	3000	523	373
1200	318	227	3300	552	394
1500	359	257	3600	582	415
1800	396	283	3900	611	436
2100	430	307	4200	640	457

Sumber: Chang and Lin, 2000

Dengan data kedatangan kendaraan di atas, hasil pada Tabel 2.8 menunjukkan model *throughput* maksimum mendapatkan besaran waktu hijau 83.1 detik untuk pendekat 1 dan 52.5 detik untuk pendekat 2 yang berlangsung selama 8 waktu siklus (1085 detik). Setelah siklus ke-8 alokasi waktu hijau mengikuti waktu hijau yang didapatkan oleh model diskrit dinamis. Rincian perhitungan antrian kendaraan dari siklus ke siklus dari kedua model disajikan pada Tabel 2.7 dan Tabel 2.8, sementara ringkasan hasil perbandingan disajikan pada Tabel 2.6. Pada Tabel 2.6 terlihat bahwa pada kasus data di atas, model *throughput* maksimum memberikan angka perbaikan untuk periode waktu lewat jenuh, rata-rata pelepasan/*throughput*, total jumlah kendaraan dalam antrian sepanjang periode lewat jenuh dan panjang maksimum antrian pada masing-masing pendekat.

Tabel 2.6. Perbandingan Model Tundaan Minimal Diskrit dan Model Throughput Maksimum

	Model Tundaan Minimal Diskrit	model maximum throughput	perbaikan (%)
Periode lewat jenuh (detik)	2400	2285	5.0
throughput rata-rata (kendaraan per jam)	1207	1246	3.1
Jumlah total kendaraan dalam antrian (siklus 1-16)	1612	1570	2.7
Antrian terpanjang - pendekat 1,2	63, 107	59, 98	6.3, 8.4

Sumber: Talmor I and Mahalel D, (2007)

Penerapan model *throughput* maksimum untuk menyelesaikan arus lalu lintas lewat jenuh di atas tidak mendefinisikan prosedur dan persyaratan titik perubahan (*switch over*) waktu hijau. Contoh penerapan tersebut di atas hanya menjelaskan bahwa perubahan waktu hijau dilakukan pada siklus ke delapan dan besaran waktu hijau yang baru mengikuti besaran waktu hijau dari model yang dikembangkan Chang & Lin (2000), yaitu g_1 berubah dari g_{1max} menjadi g_{1min} dan g_2 berubah dari g_{2min} menjadi g_{2max} .

Ringkasan perbandingan model diskrit dinamis dengan tujuan meminimumkan tundaan total (Chang & Lin, 2000) dengan model memaksimumkan arus yang dapat dilepas (Talmor & Mahalel, 2007) disajikan pada Tabel 2.9.

Berdasarkan berbagai metode perencanaan kontrol lalu lintas dengan APILL pada periode lewat jenuh yang telah dikaji di atas, analisis yang diperlukan dalam penelitian kontrol lalu lintas dengan APILL di LPRJ pada kondisi arus lewat jenuh meliputi :

1. Melanjutkan metode perencanaan kontrol lalu lintas multi tahap dengan perubahan waktu hijau pada titik tertentu yang disebut titik perubahan (*switch-over point*)
2. Menentukan variabel kontrol sebagai penentu titik perubahan (*switch over*) agar didapatkan kinerja yang optimal.
3. Menentukan waktu hijau optimal yang dapat menyelesaikan antrian akibat arus lewat jenuh pada waktu atau siklus yang sama. Waktu hijau optimal adalah waktu hijau dengan kinerja terbaik (tundaan total dan *throughput* rata-rata) diantara waktu hijau yang memenuhi tujuan dapat menyelesaikan antrian

akibat arus lewat jenuh pada waktu/siklus yang sama.

4. Menerapkan model *penelitian* untuk Lokasi Penyempitan Ruas Jalan (LPRJ) pada jalan dua lajur dua arah tak terbagi (2/2UD)
5. Melakukan analisis hasil kinerja pada penerapan model *penelitian* untuk Lokasi Penyempitan Ruas Jalan (LPRJ) pada jalan dua lajur dua arah tak terbagi (2/2UD)

Tabel 2.7. Volume Kumulatif dan Panjang Antrian - 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	$g12=52,5$ detik	pnj antrian	kend.yg dilepas/siklus	kumulatif kend.yg dilepas
		kumulatif volume kendr datang	Perkiraan Volume/siklus				kumulatif volume kendr datang	Perkiraan Volume/siklus			
	detik	kendaraan	kendaraan	kendaraan	kendaraan	kendaraan	kendaraan	kendaraan	kendaraan	kendaraan	kendaraan
1	150	61	61	26	35	35	43	43	28	15	15
2	300	121	60	48	39	73	86	43	57	15	29
3	450	163	42	59	31	104	117	31	73	15	44
4	600	205	42	63	38	142	147	31	89	15	58
5	750	237	32	60	35	177	170	23	97	15	73
6	900	268	32	53	39	215	192	23	105	15	88
7	1050	293	25	43	35	250	210	18	107	15	102
			$g12=60$ detik					$g22=90$ detik			
8	1200	318	25	38	30	280	227	18	100	25	127
9	1350	339	21	38	21	301	242	15	90	25	152
10	1500	359	21	35	24	324	257	15	80	25	177
11	1650	378	19	32	22	346	270	13	68	25	202
12	1800	396	19	27	24	369	283	13	56	25	227
13	1950	413	17	21	23	392	295	12	43	25	252
14	2100	430	17	15	23	415	307	12	30	25	277
15	2250	446	16	9	22	437	319	12	16	25	302
16	2400	462	16	1	24	461	330	12	3	25	327
17	2550	477	15	-7	23	477	341	11	-11	25	341
				(tidak ada antrian)					(tidak ada antrian)		

Sumber: Talmor I and Mahalel D (2007)

Tabel 2.8. Volume Kumulatif dan Panjang Antrian - Model Maximum Throughput

no.siklus	waktu	Pendekat 1		pnj antrian	kend.yg dilepas/ siklus	kumulatif kend.yg dilepas	Pendekat 2		pnj antrian	kend.yg dilepas/ siklus	kumulatif kend.yg dilepas
		Volume Kumulatif Pendekat 1	kend yg dilepas				Volume Kumulatif Pendekat 1	kend yg dilepas			
	detik	smp	smp	smp	smp	smp	smp	smp	smp	smp	smp
1	135,6	55	55	23	32	32	39	39	24	15	15
2	271,2	109	54	45	32	65	78	39	49	15	29
3	406,8	151	42	54	32	97	108	30	64	15	44
4	542,4	189	38	60	32	129	135	28	77	15	58
5	678,0	221	33	60	32	162	159	23	86	15	73
6	813,6	250	28	56	32	194	179	20	92	15	88
7	949,2	276	26	50	32	226	199	20	97	15	102
8	1084,8	299	23	40	32	259	214	14	97	15	117
			<i>g12=60 detik</i>					<i>g22=90 detik</i>			
9	1234,8	323	24	41	23	282	230	17	89	25	142
10	1384,8	343	21	38	23	305	245	15	79	25	167
11	1534,8	363	20	35	23	329	260	15	68	25	192
12	1684,8	382	19	30	23	352	273	13	56	25	217
13	1834,8	400	18	25	23	375	286	13	44	25	242
14	1984,8	417	17	18	23	399	298	12	31	25	267
15	2134,8	434	17	12	23	422	310	12	18	25	292
16	2284,8	450	16	5	23	445	321	11	5	25	317
17	2434,8	465	16	-3	23	465	333	12	-9	25	333
				(tidak ada antrian)					(tidak ada antrian)		

Sumber: Talmor I and Mahalel D (2007)

Tabel 2.9. Ringkasan Perbandingan Model Minimum Tundaan Diskrit dan Maximum Throughput

Peneliti	Chang TH and Lin JT (2000).	Talmor I and Mahalel D, (2007),
Tujuan	meminimumkan total tundaan persimpangan selama periode lewat jenuh	memaksimumkan total throughput selama periode lewat jenuh
Kondisi arus kedatangan	kedua pendekatan dalam kondisi lewat jenuh	kedua pendekatan dalam kondisi lewat jenuh
Metodologi	menurunkan model tundaan minimum diskrit dan midel indeks kinerja (<i>performance index</i>) untuk perencanaan kontrol lalu lintas dengan APILL dua fase pada kondisi lewat jenuh	menggunakan <i>applied discharge flow</i> sebagai dasar perhitungan
	Model Tundaan Minimum Diskrit: $D(k+1) = D(k) + Bu(k) + W(k)$ $D(k) = a_1D_1(k) + a_2D_2(k) + a_3D_3(k) + a_4D_4(k)$ $B = \frac{1}{2} (a_1s_1 + a_2s_2 - a_3s_3 - a_4s_4)$ $u(k) = g_2^2(k)$ $W(k) = a_1W_1(k) + a_2W_2(k) + a_3W_3(k) + a_4W_4(k)$	rata-rata throughput maksimum dicapai jika nilai marjinal dari fungsi adf seluruhnya sama dengan rata-rata throughput
	Model <i>performance index</i> : $PI(k+1) = PI(k) + Bu(k) + Z(k)$ $PI(k) = a_1PI_1(k) + a_2PI_2(k) + a_3PI_3(k) + a_4PI_4(k)$ $B = \frac{1}{2} (a_1s_1 + a_2s_2 - a_3s_3 - a_4s_4)$ $u(k) = (g_2(k) + G(k))^2$ $Z(k) = -\frac{1}{2}(a_1s_1 + a_2s_2 - a_3s_3 - a_4s_4)G^2(k) + a_1W_1(k) + a_2W_2(k) + a_3W_3(k) + a_4W_4(k) + K(a_1Y_1(k) + a_2Y_2(k) + a_3Y_3(k) + a_4Y_4(k))$	Maksimumkan : $\Psi(\bar{G}) = \frac{\int_0^{G_1} \gamma_1.t.dt + \int_0^{G_2} \gamma_2.t.dt}{C}$
	Minimumkan : $MINJ = \frac{1}{2}(D(k))^2 + \frac{1}{2} \sum_{k=2}^N (D(k))^2$ $H = \frac{1}{2} (D(k))^2 + \lambda(k+1) [D(k) + Bu(k) + W(k)]$	

BAB 3 METODOLOGI PENDEKATAN

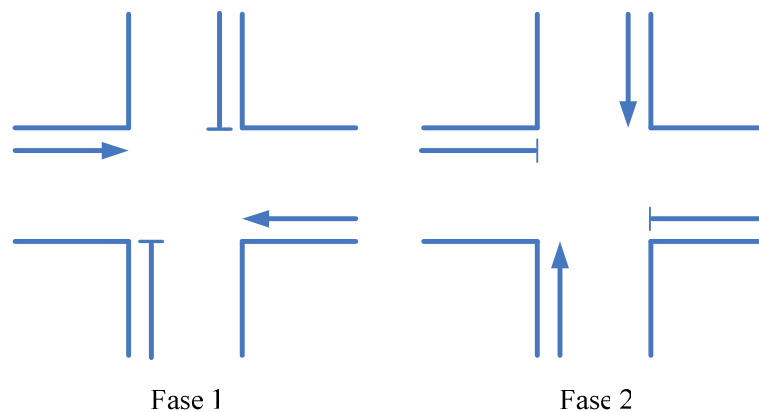
3.1. Konsep Analisis

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:

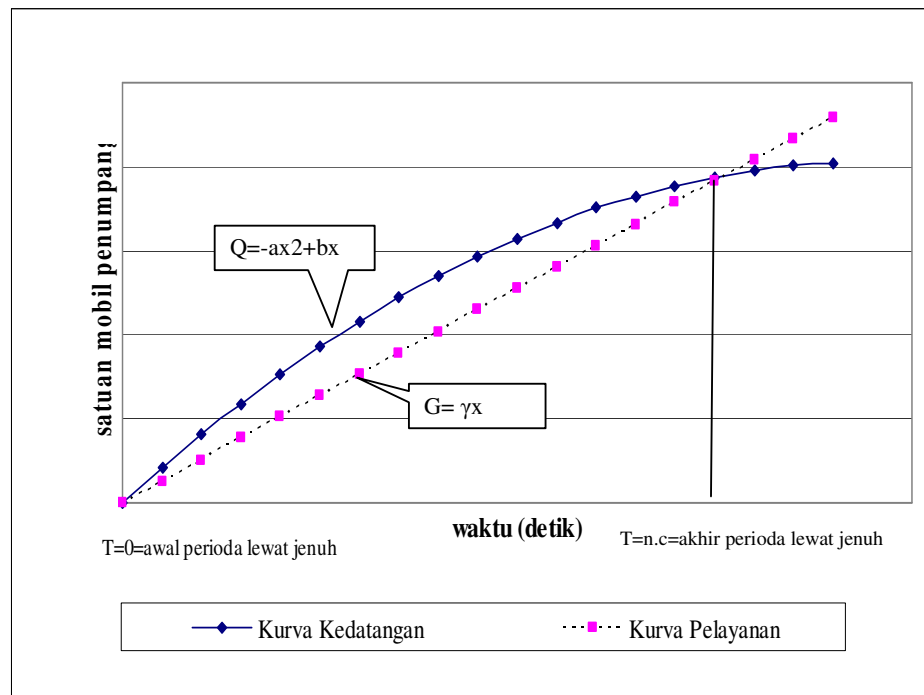
$$G_i = \gamma_i \cdot x \quad i=1,2 \quad (3.2)$$

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:

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

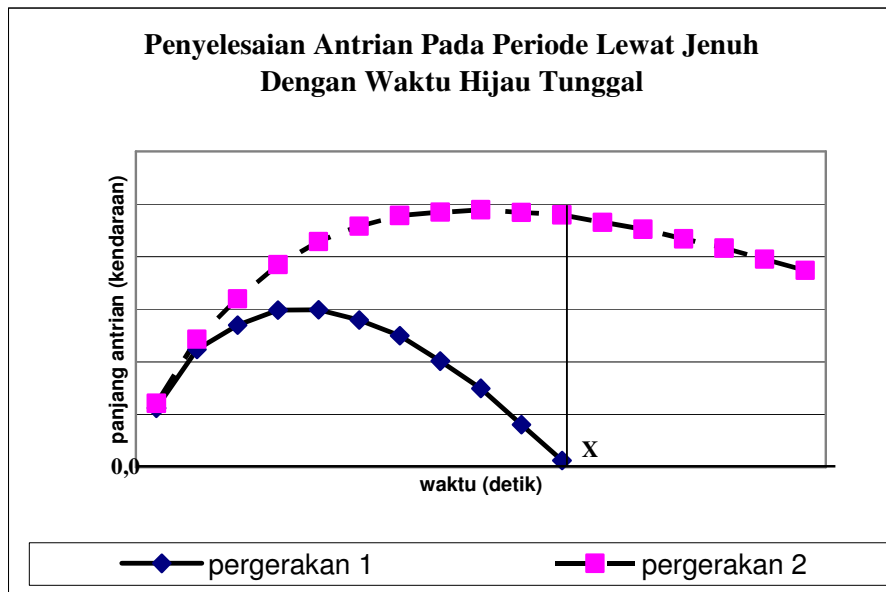
Nilai c merupakan besaran yang dijadikan masukan, sedangkan nilai $a_1, a_2, b_1, b_2, s_1, s_2$ diketahui berdasarkan data lapangan. Dengan ketentuan persamaan harus memenuhi $g_1 + g_2 = c$, maka nilai n dapat dihitung. Dengan nilai n yang sudah diketahui, maka nilai T dan γ juga dapat dihitung. Berdasarkan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

3.1.2 Pengembangan Metode Optimasi

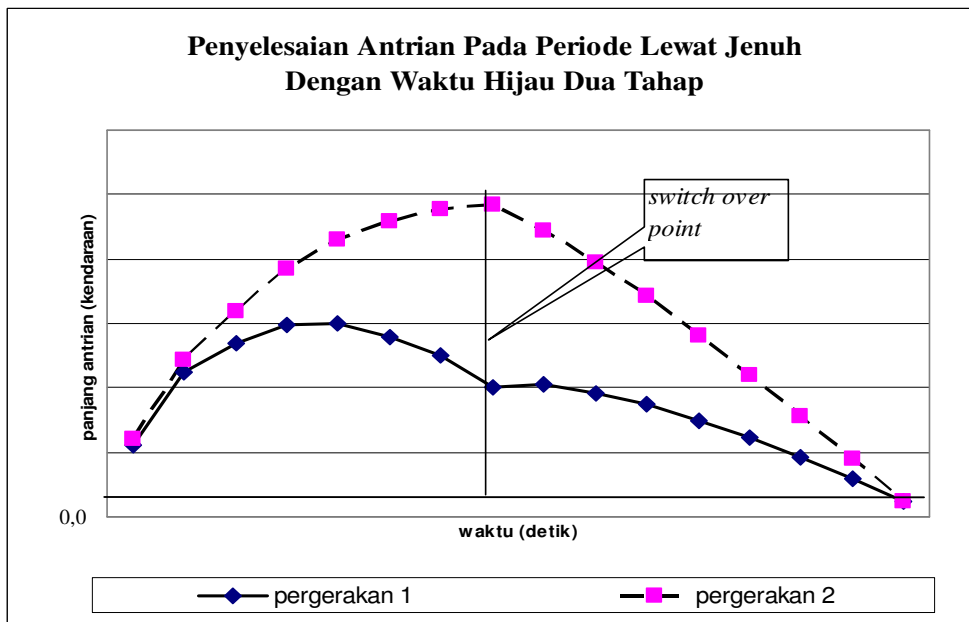
Arus lalu lintas lewat jenuh akan menyisakan antrian pada siklus pertama pengaturan kontrol lalu lintas bersinyal, sehingga harus dianalisis strategi pemberian waktu hijau agar antrian kendaraan tersisa dihabiskan pada siklus yang sama.

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 pendekat 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 ($VD_{i,j}$)

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

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

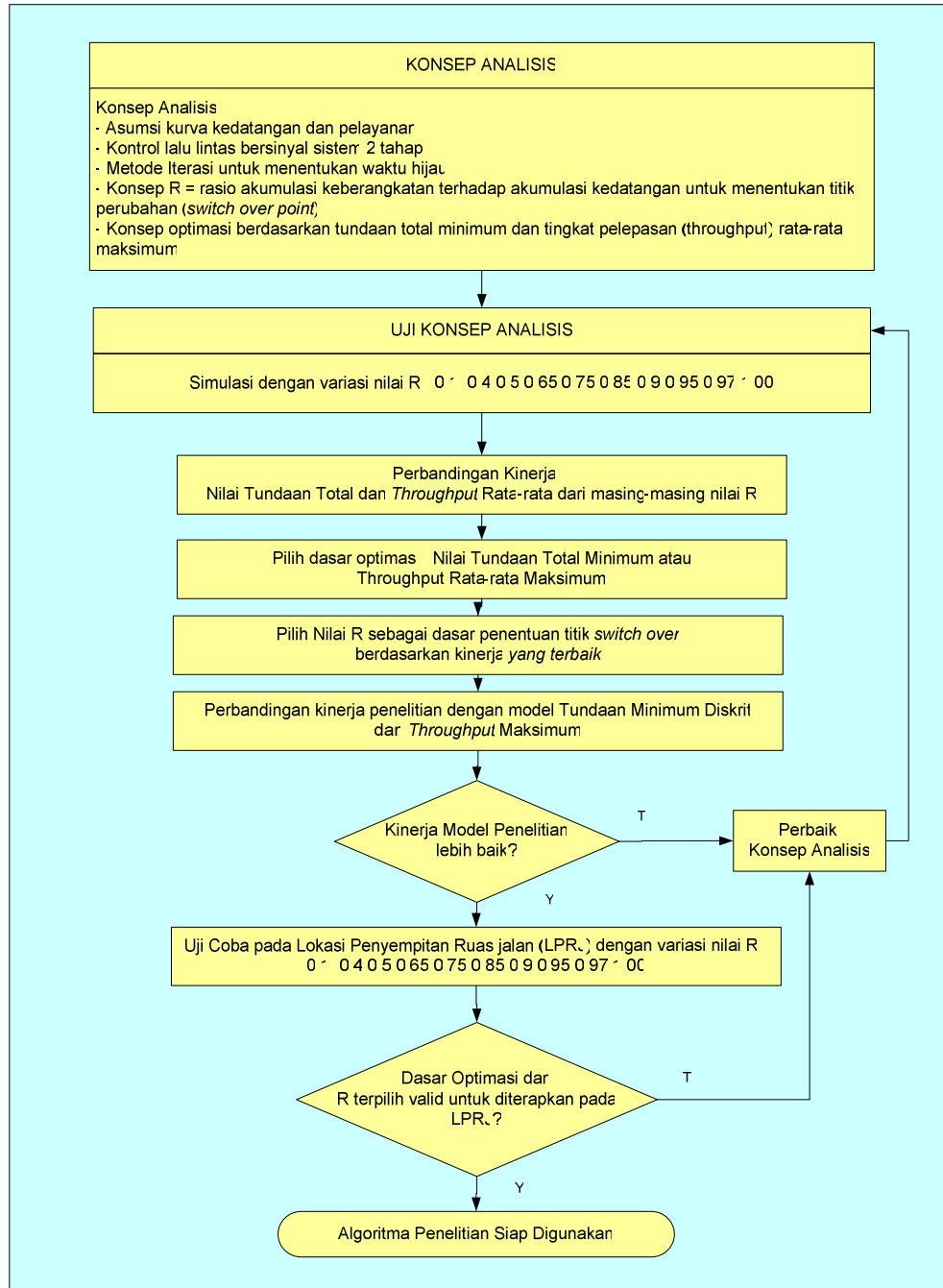
rasio akumulasi kendaraan yang dilepas dan akumulasi kendaraan yang datang ($R_{ij}(m)$).

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 kedataan 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 menghasilkan 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.

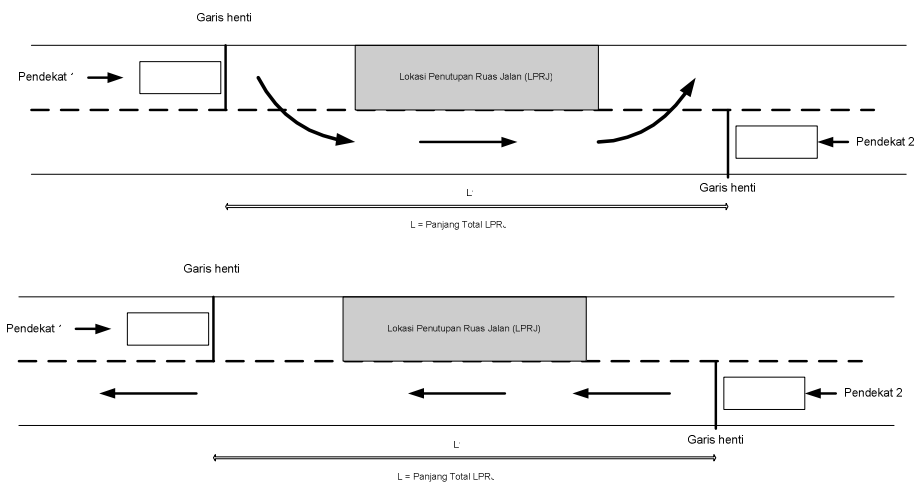
Bagan alir tahapan penentuan metode optimasi pada penelitian disajikan pada Gambar 3.4.



Gambar 3.4. Bagan Alir Penentuan Metode Optimasi Penelitian

3.1.3. Penerapan Kontrol Lalu Lintas Bersinyal Pada LPRJ

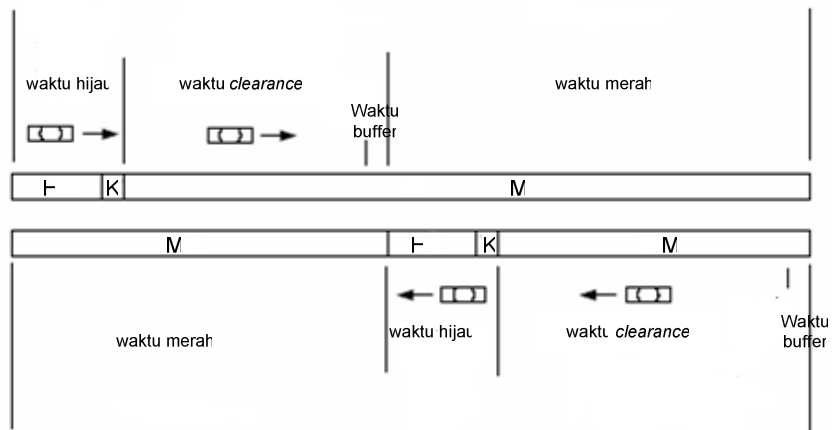
Perencanaan kontrol lalu lintas dengan APILL pada LPRJ identik dengan kontrol lalu lintas bersinyal pada persimpangan dengan 2 (dua) pergerakan, dimana area persimpangan berada pada LPRJ dan pergerakan arus lalu lintas berasal dari pendekat yang berada di lokasi sebelum dan sesudah LPRJ (Gambar 3.5). 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

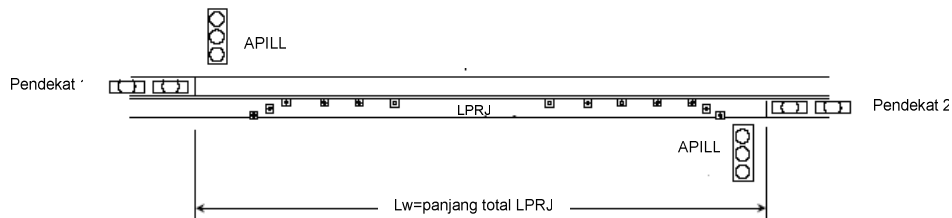
Beberapa unsur perencanaan kontrol lalu lintas dengan pada LPRJ yang perlu menjadi perhatian adalah :

- 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.

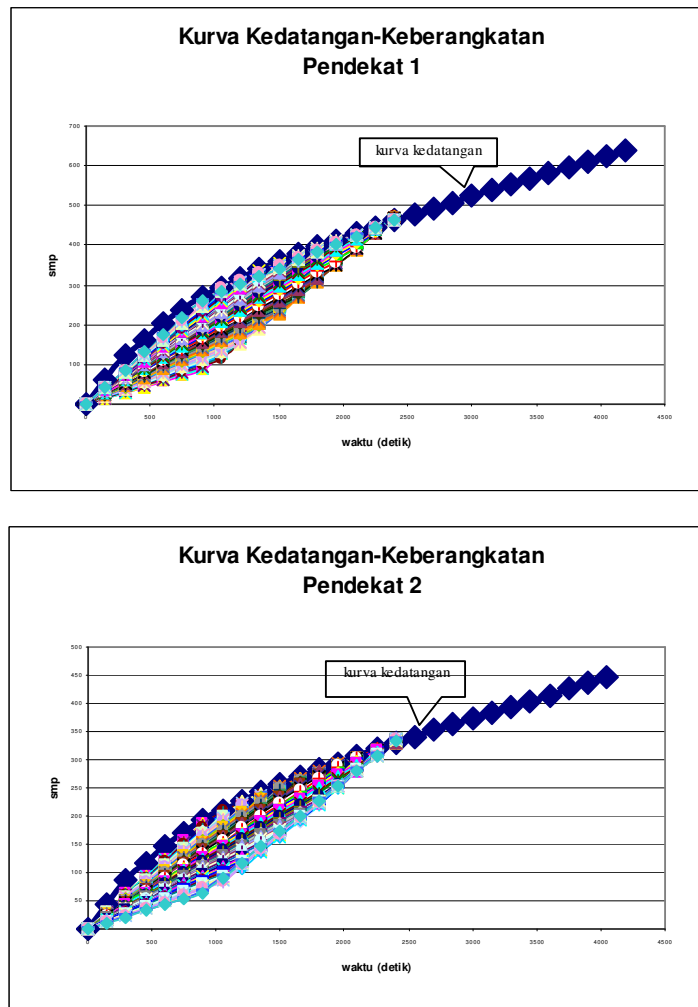
Dengan tujuan agar dapat dibandingkan dengan metode-metode terdahulu, data kedatangan kendaraan yang digunakan dalam simulasi mengacu pada data simulasi yang dilakukan oleh Chang & Lin (2001) dan Talmor & Mahalel (2007), seperti disajikan pada Tabel 3.1. Pada data ini akumulasi kedatangan kendaraan dengan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

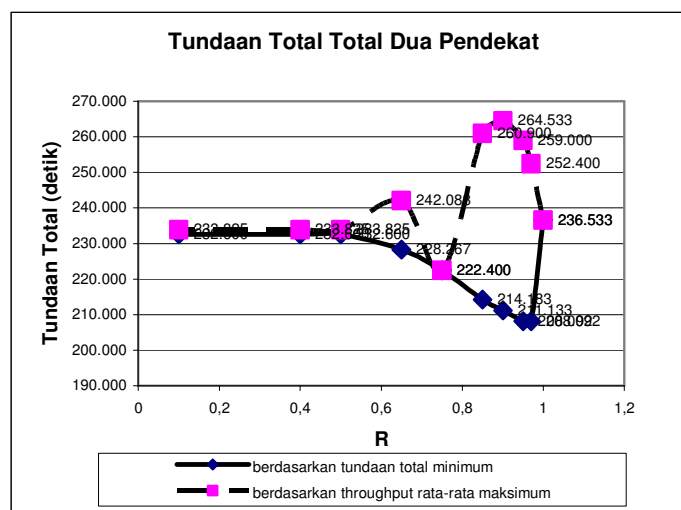
Kinerja	perubahan waktu hijau pada R=									
	1	0,97	0,95	0,9	0,85	0,75	0,65	0,5	0,4	0,1
	Berdasarkan Nilai Tundaan Total Minimum									
Periode lewat jenuh (detik)	2400	2400	2400	2400	2400	2400	2400	2400	2400	2400
tingkat pelepasan/throughput rata-rata (smp/jam)	1.201	1.198	1.198	1.199	1.198	1.200	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 $R \geq 0,95$

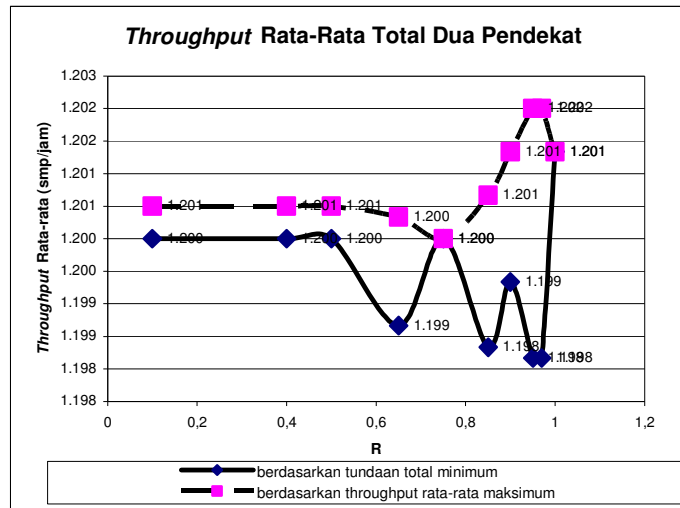
Kinerja	perubahan waktu hijau pada R=									
	1	0,97	0,95	0,9	0,85	0,75	0,65	0,5	0,4	0,1
	Berdasarkan Nilai Tundaan Total Minimum									
tingkat pelepasan/throughput rata-rata (smp/jam)	100,26%	100,00%	100,00%	100,10%	100,01%	100,15%	100,04%	100,15%	100,15%	100,15%
Jumlah total kendaraan dalam antrian (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 pendekat 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				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	smp	smp	detik/kend	detik	detik/kend	detik	
1	135,6	55	55	23	32	32	39	39	24	15	15	62	3403	94	3643			
2	271,2	109	54	45	32	65	78	39	49	15	29	61	6713	94	7287			
3	406,8	151	42	54	32	97	108	30	64	15	44	54	8093	89	9595			
4	542,4	189	38	60	32	129	135	28	77	15	58	47	8941	85	11543			
5	678,0	221	33	60	32	162	159	23	86	15	73	41	8970	81	12868			
6	813,6	250	28	56	32	194	179	20	92	15	88	34	8393	77	13731			
7	949,2	276	26	50	32	226	199	20	97	15	102	27	7498	73	14595			
8	1084,8	299	23	40	32	259	214	14	97	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	19	6133	58	13322			
10	1384,8	343	21	38	23	305	245	15	79	25	167	17	5708	48	11822			
11	1534,8	363	20	35	23	329	260	15	68	25	192	14	5214	39	10252			
12	1684,8	382	19	30	23	352	273	13	56	25	217	12	4489	31	8452			
13	1834,8	400	18	25	23	375	286	13	44	25	242	9	3712	23	6618			
14	1984,8	417	17	18	23	399	298	12	31	25	267	7	2762	16	4668			
15	2134,8	434	17	12	23	422	310	12	18	25	292	4	1777	9	2718			
16	2284,8	450	16	5	23	445	321	11	5	25	317	2	677	2	675			
17	2434,8	465	16	-3	23	465	333	12	-9	25	333	-1	-458	-4	-1350			
			(tidak ada antrian)						(tidak ada antrian)									
		Pendekat 1			Pendekat 2									total tundaan	88063	total tundaan	144972	
		panjang antrian maksimum (smp)			panjang antrian maksimum (smp)									total tundaan simpang		233035		
		total kendaraan dalam antrian (smp)			total kendaraan dalam antrian (smp)													
		rata rata kend dilepas/siklus (smp/jam)			rata rata kend dilepas/siklus (smp/jam)													

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) 38
total kendaraan dalam antrian (smp) 234

Pendekat 2
panjang antrian maksimum (smp) 127
total kendaraan dalam antrian (smp) 1156

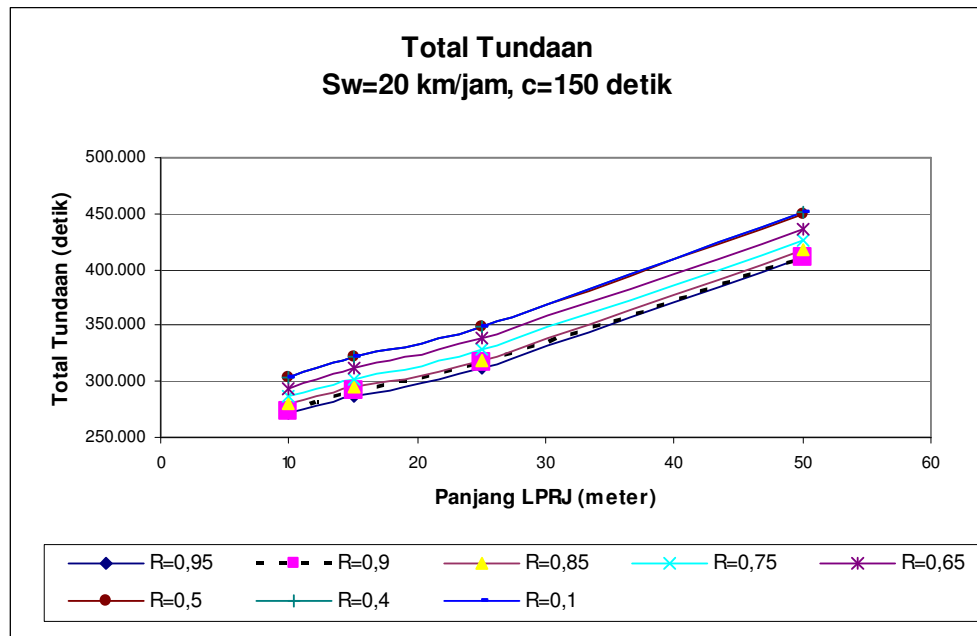
Sumber : Hasil Perhitungan, 2009

3.2.3. Penerapan Pada LPRJ Dengan Variasi Nilai R

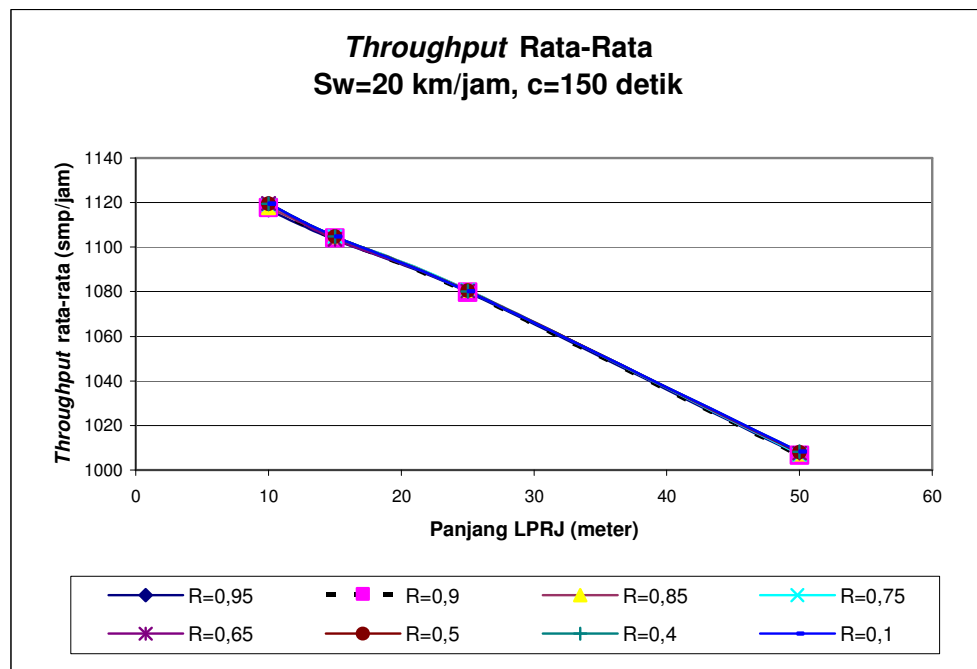
Metode optimasi berdasarkan tundaan total minimum selanjutnya diterapkan dalam simulasi kontrol lalu lintas bersinyal pada LPRJ. Pada tahapan ini nilai R dan penetapan waktu hijau berdasarkan tundaan total minimum diuji kembali untuk memastikan besaran nilai R yang mewakili dan dasar pemilihan waktu 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.

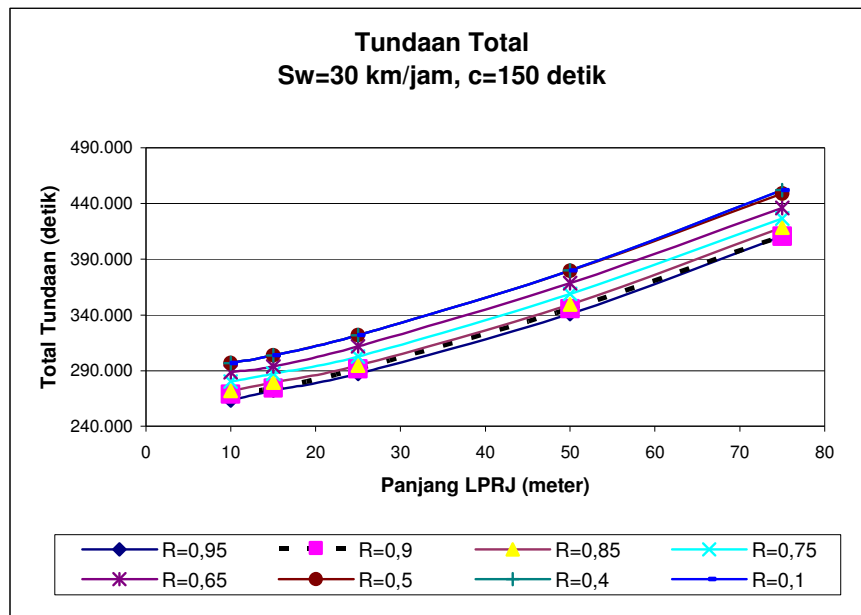


(a)

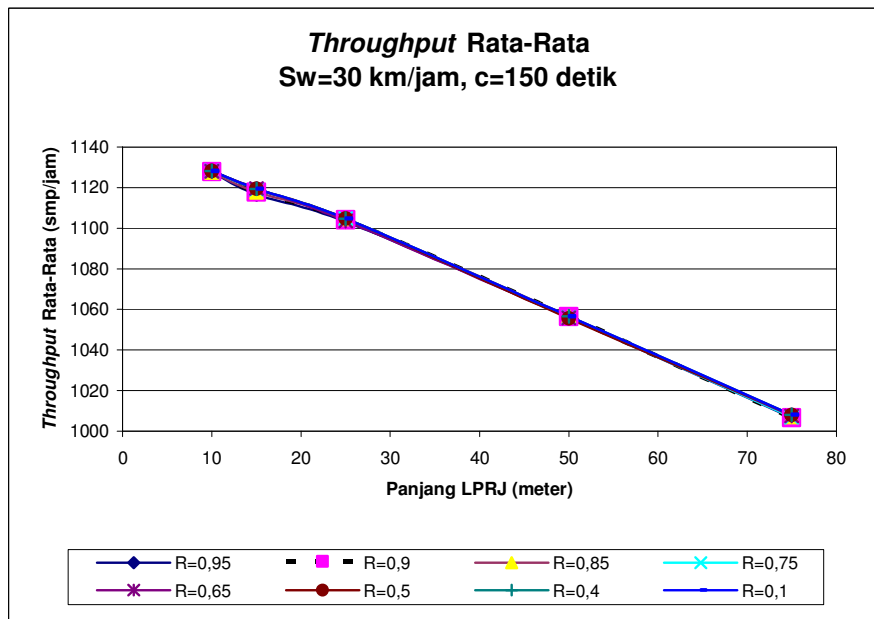


(b)

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

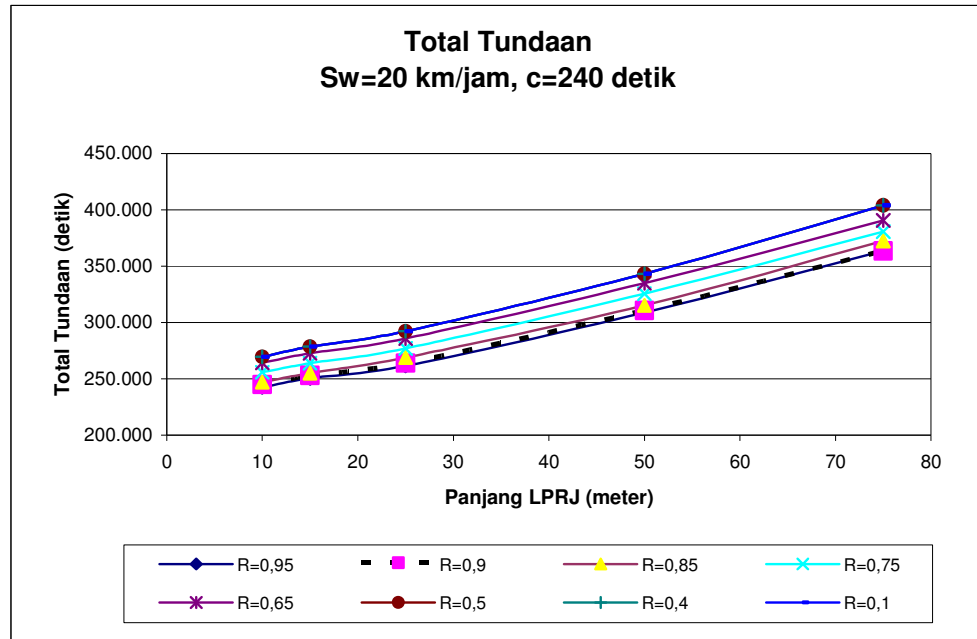


(a)

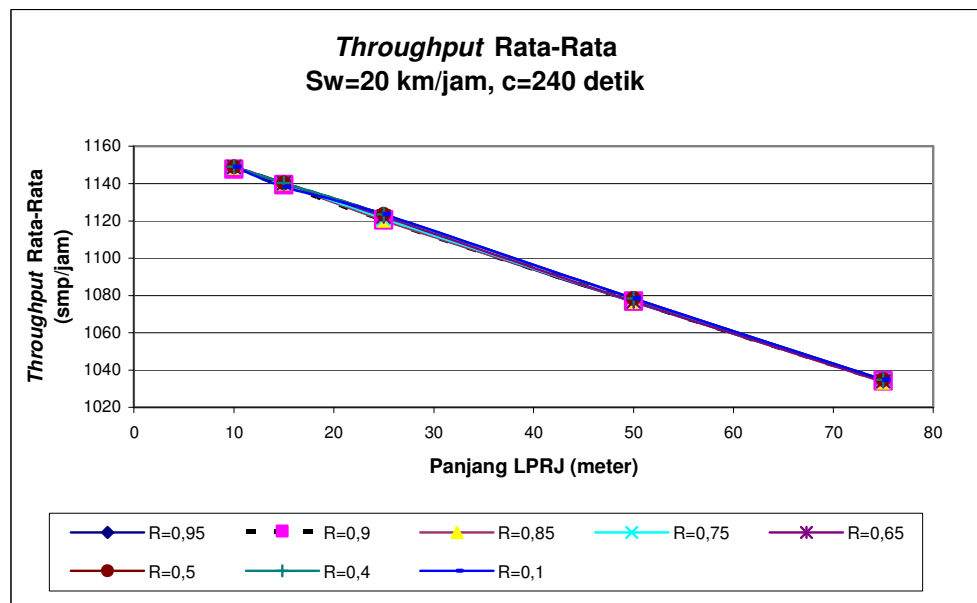


(b)

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

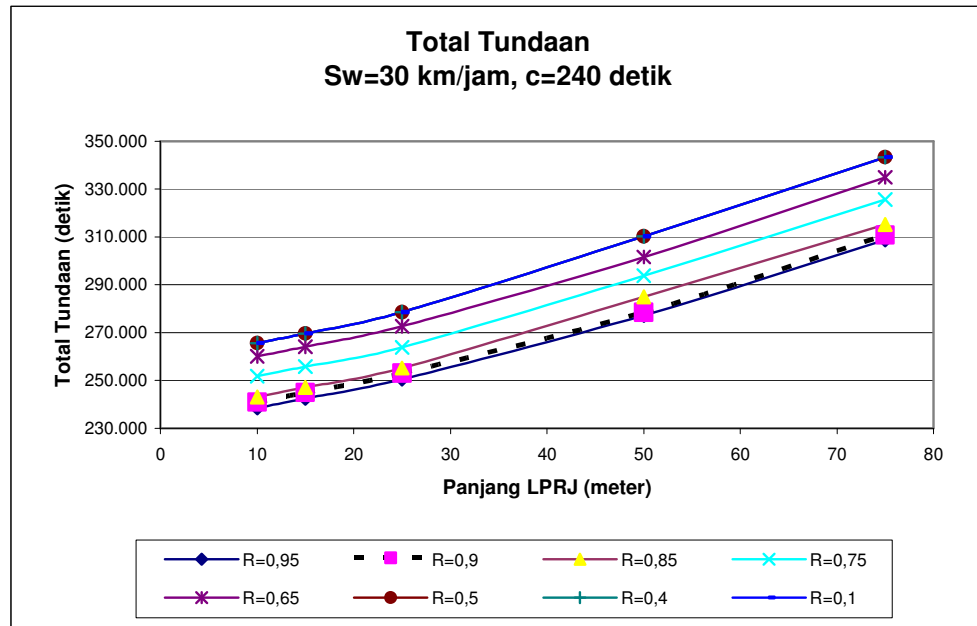


(a)

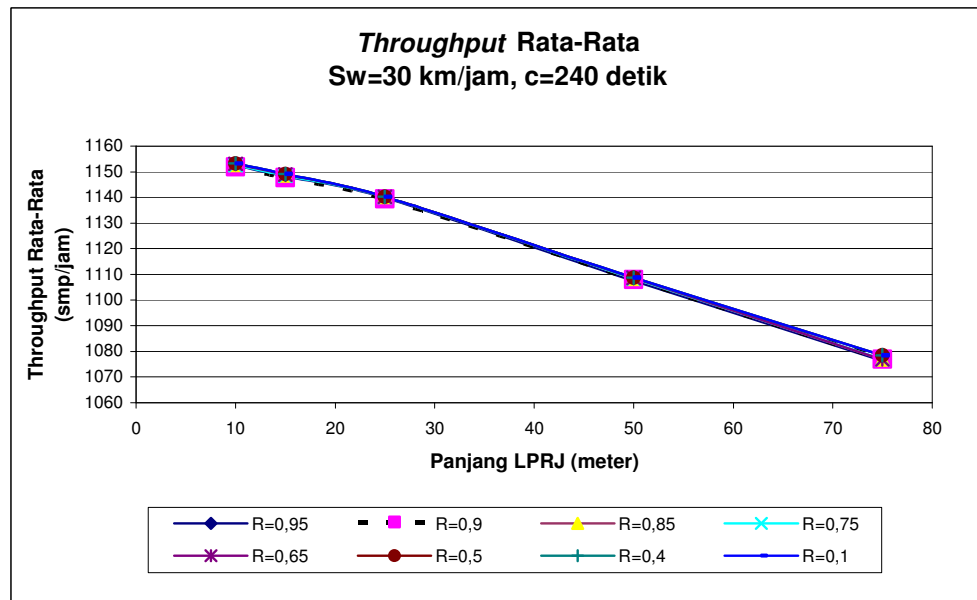


(b)

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 dan makin kecil *throughput* rata-rata yang terjadi. Untuk kedua waktu siklus, baik pada $Sw=20$ 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 $Sw=20$ 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 $Sw=20$ 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;

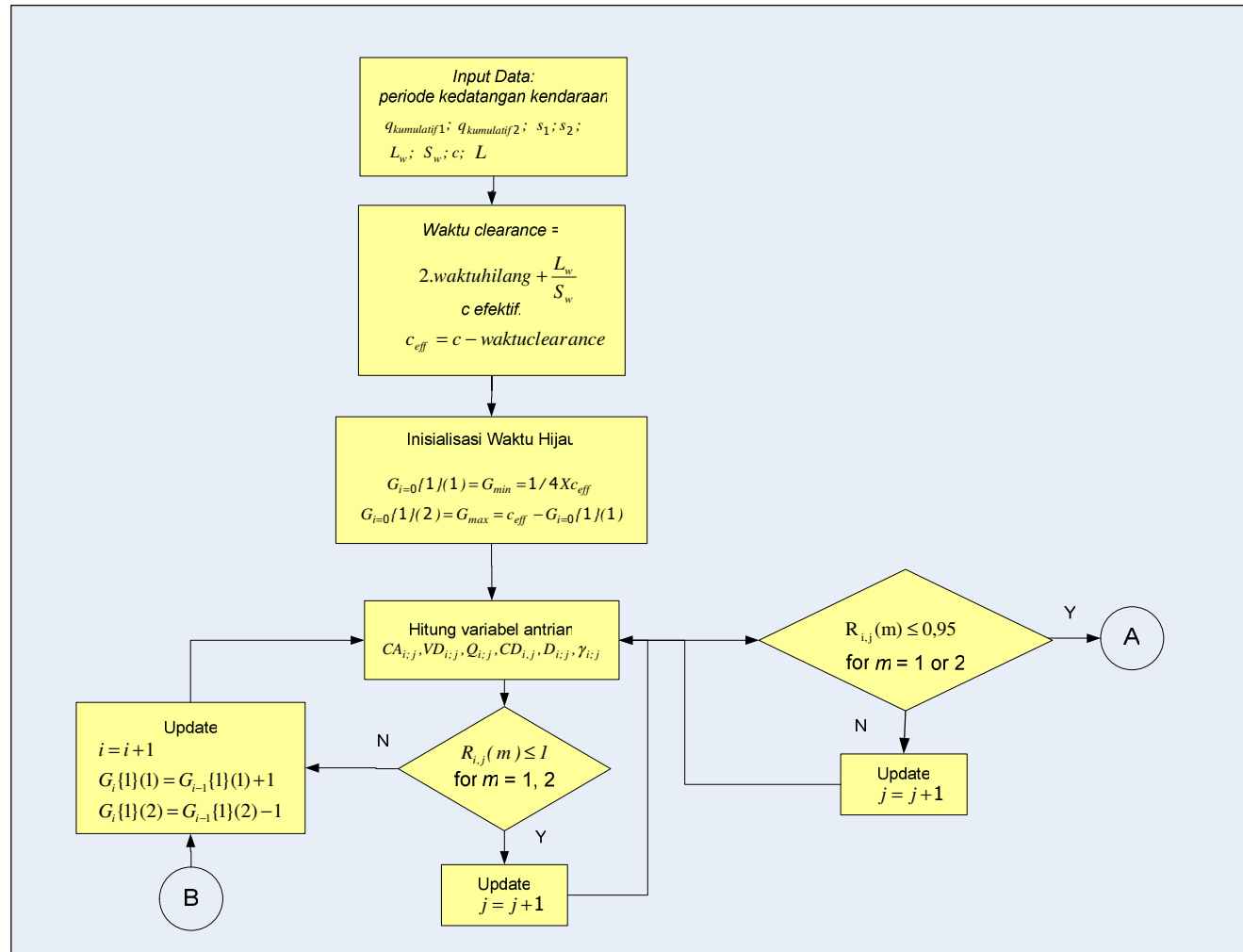
- a. $q_{kumulatif1}$ = Data akumulasi arus kedatangan per periode waktu pada pendekat 1 (smp)

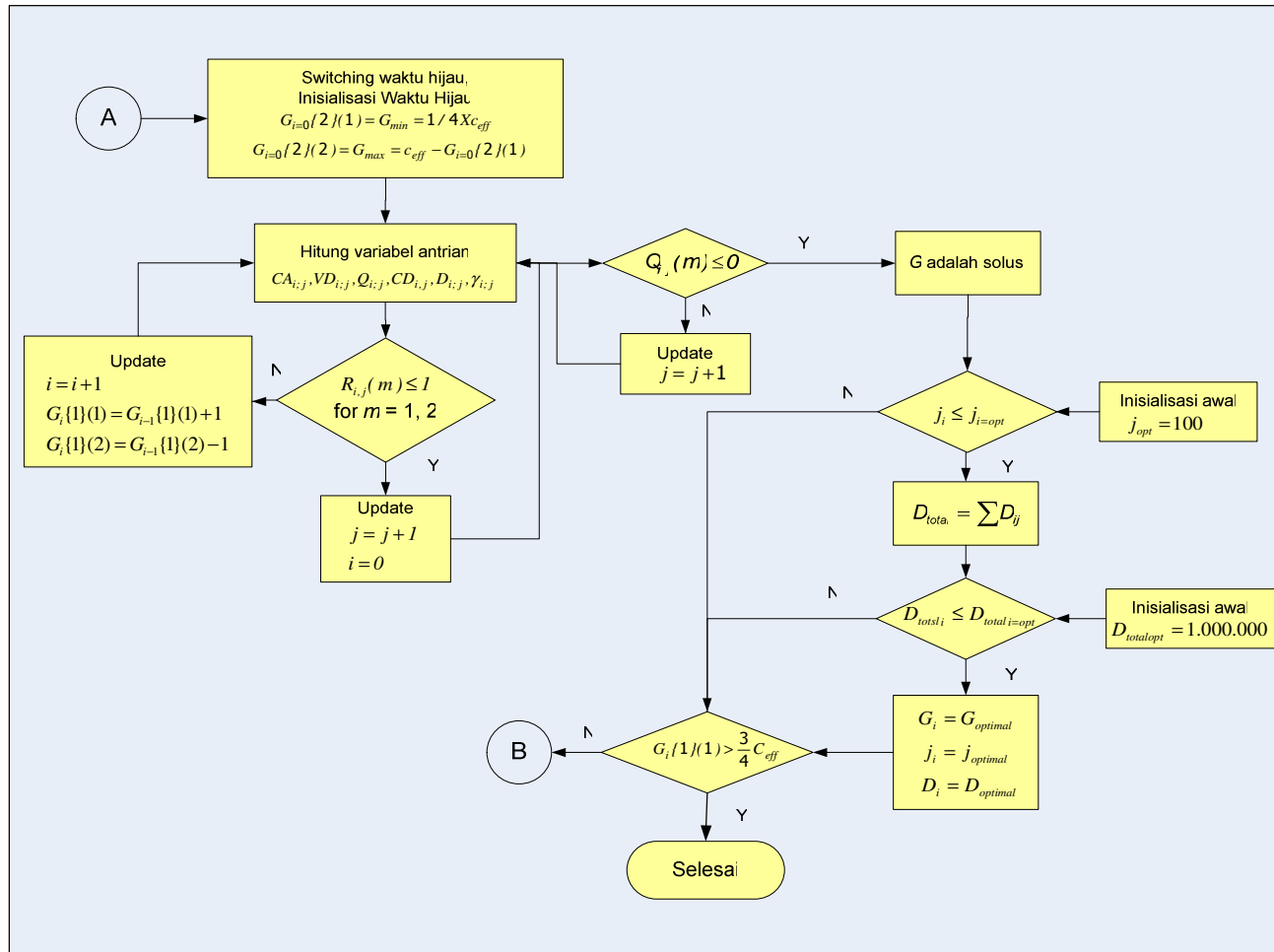
$q_{kumulatif2}$ = Data akumulasi arus kedatangan per periode waktu pada pendekat 2 (smp).

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.)

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

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

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.

Ulang sampai $R_{i,j-1}(m) \geq 0.95$, untuk $m = 1$ atau 2

Jika kondisi $R_{i,j-1}(m) \geq 0.95$, untuk $m = 1$ atau 2 sudah terpenuhi, masuk ke step 5.

Step 5

Inisialisasi waktu hijau setelah *switching*.

$$G_{i=0}\{2\}(1) = 1/4Xc_{eff}$$

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

Dalam hal ini variable i kembali diulang dari awal karena pada step ini merupakan tahap mencari waktu hijau setelah *switching*.

Step 6

Kembali hitung nilai dari $R_{i,j-1}(m)$ dengan menggunakan waktu hijau setelah *switching*. Jika $R_{i,j-1}(m) \leq 1$, untuk $m=1,2$, $j = j+1$ dan update nilai-nilai $CA_{i,j}$, $Q_{i,j}$, $VD_{i,j}$, $CD_{i,j}$. Ulang sampai $R_{i,j-1}(m) \geq 1$, untuk $m = 1$ atau 2 . Selain itu update $i = i+1$ dan update waktu hijau sebagai berikut:

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

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

Jika $i \leq G_0\{1\}(2) - G_0\{1\}(1)$ ulangi step 3 dengan $i=i+1$ dan update waktu hijau:

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

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

Langkah di atas untuk memastikan bahwa penambahan G tidak melebihi cycle time yang telah ditentukan. Lainnya, masuk ke step 7.

Step 7

Jika saat iterasi terakhir j , panjang antrian Q pada saat j , dan $j-1$ bernilai negatif dan $j-2$ bernilai positif untuk kedua fase, maka waktu hijau ini merupakan solusi dari masalah.

Solusi dengan nilai tundaan total minimum (D_{total} terkecil) adalah solusi optimal untuk masalah ini.

Proses penentuan D_{total} terkecil:

a. Bandingkan nilai j dengan j_{opt} . Untuk inisialisasi awal nilai $j_{opt} = 100$

b. Bandingkan nilai D_{total} dengan $D_{total\ opt}$.

Untuk inisialisasi awal, nilai $D_{total\ opt} = 1.000.000$

c. Jika nilai $j < j_{opt}$ dan $D_{total} < D_{total\ opt}$, maka nilai pasangan G untuk pendekat 1 dan 2 sebelum dan sesudah pergantian (*switching*) yaitu $G\{1\}(1)$, $G\{1\}(2)$, $G\{2\}(1)$ dan $G\{2\}(2)$ adalah solusi optimal.

Kembali ke step 4 dengan :

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

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

Sistem akan berakhir apabila $G\{1\}(1) > 3/4 \cdot c_{eff}$

Contoh program Matlab yang disusun berdasarkan algoritma di atas disajikan pada Lampiran 1. Contoh hasil simulasi disajikan pada Lampiran 2 dan penjelasan hasil simulasi disajikan pada Lampiran 3.

Peneliti	Chang TH and Lin JT (2000).	Talmor I and Mahalel D, (2007),
keunikan	memberikan metodologi dalam memutuskan perencanaan waktu secara keseluruhan yang mengatasi seluruh periode arus jenuh	fungsi <i>applied discharge flow</i> lebih sesuai untuk diterapkan dibandingkan fungsi arus keberangkatan jenuh (<i>saturation discharge flow</i>)
kesimpulan	Model <i>performance index</i> lebih sesuai untuk penentuan waktu sinyal pada kondisi jenuh dan lebih baik dibandingkan model tundaan minimum murni.	Waktu siklus hasil perhitungan menurut pendekatan ini memaksimalkan tingkat keberangkatan pada persimpangan, sehingga periode jenuh menjadi lebih pendek dan tundaan menurun.
	Model jenis diskrit lebih dapat diterapkandi lapangan dibanding model kontinyu. Model kontinyu dapat mengaktifkan titik switch-over pada akhir siklus, sedangkan model diskrit dapat bersamaan mengaktifkan titik switch-over pada waktunya.	

BAB IV HASIL PENELITIAN

4.1. Skenario Simulasi

Simulasi perencanaan APILL pada LPRJ dengan arus kedatangan lewat jenuh dilakukan dengan skenario sebagai berikut:

1. Variasi Derajat Kejenuhan Total
2. Variasi Periode Pengamatan Arus Kedatangan
3. Variasi Panjang Lokasi Penyempitan Ruas Jalan
4. Variasi Kecepatan pada Lokasi Penyempitan Ruas Jalan
5. Variasi Waktu Siklus

4.1.1. Arus Jenuh

Input arus kedatangan diasumsikan selama 1 jam sibuk (3600 detik) dengan kedatangan arus lewat jenuh terjadi pada periode pertama deteksi kedatangan kendaraan. Untuk menentukan asumsi arus kedatangan lewat jenuh, maka harus ditentukan arus jenuh dari masing-masing pendekat. Penentuan arus jenuh didasarkan pada hasil penelitian Webster dan Cobbe (1966) untuk lebar lajur kurang dari 5,5 meter. Penentuan arus jenuh efektif diambil dengan asumsi faktor sebesar 0,9. Besaran arus jenuh ideal berdasarkan lebar jalan menurut Webster dan Cobbe (1966) disajikan pada Tabel 4.1. Pada penelitian ini, asumsi lebar lajur pada kedua pendekat adalah 3,5 meter dengan arus jenuh (s) 1885 smp/jam dan arus jenuh efektif (s efektif) akibat kondisi jalan adalah 1697 smp/jam.

Tabel 4.1. Arus Jenuh Berdasarkan Lebar Lajur

Lebar lajur (meter)	Arus jenuh ideal*) (smp/jam)	Arus jenuh efektif**) (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

*) Sumber : Webster dan Cobbe (1966)

**) Asumsi dengan faktor pengali 0,9

Untuk mengakomodasi berbagai variasi lebar lajur, metoda penentuan arus jenuh dan nilai ekivalensi kendaraan menjadi satuan mobil penumpang (smp), pada penelitian ini digunakan variasi Derajat Kejenuhan Total (DS) yaitu penjumlahan rasio arus kedatangan terhadap arus jenuh sebagai variabel dalam variasi arus kedatangan dari kedua lajur dengan arah pergerakan berlawanan yang pada kontrol lalu lintas bersinyal dianggap sebagai pendekat. Berkaitan dengan arus jenuh dan derajat kejenuhan, skenario simulasi yang dilakukan pada penelitian adalah sebagai berikut:

- a. Variasi kedatangan kendaraan merupakan variasi derajat kejenuhan total dan derajat kejenuhan masing-masing pendekat
- b. Asumsi lama waktu pengamatan kedatangan kendaraan adalah 1 jam (3600 detik), dengan arus kedatangan lewat jenuh terjadi pada 300 detik pertama.
- c. Variasi derajat kejenuhan total (DS) pada 300 detik pertama adalah:
 - $1 < DS < 1,5$ (diwakili DS=1,44)
 - $1,5 < DS < 2$ (diwakili DS=1,86)
 - $2 < DS < 2,5$ (diwakili DS=2,26)
 - $DS > 2,5$ (diwakili DS=2,76)

DS yang mewakili merupakan nilai tengah dari rentang DS, kecuali untuk rentang $1 < DS < 1,5$. Pada rentang ini tidak diwakili DS=-1,25 dengan pertimbangan pada *split* arus 50:50 masing-masing pendekat belum mengalami kejenuhan (DS masing-masing pendekat=0,625).

- d. Arus kedatangan setelah 300 detik pertama sampai akhir waktu pengamatan (detik ke 3600) adalah arus tidak jenuh, dengan asumsi besar derajat kejenuhan total (DS) sebesar 0,71.

Berdasarkan asumsi-asumsi di atas, besar arus kedatangan lewat jenuh yang terjadi pada 300 detik pertama yang digunakan pada penelitian dalam satuan smp/jam disajikan pada Tabel 4.2.

Tabel 4.2. Asumsi Arus Kedatangan pada 300 detik Pertama (smp/jam)

s efektif	Derajat Kejenuhan Total (2 pendekat) :			
	1,44	1,86	2,26	2,76
smp/jam	smp/jam	smp/jam	smp/jam	smp/jam
1.697	2.444	3.156	3.835	4.684
<i>Split 50:50</i>				
pendekat 1	1.222	1.578	1.918	2.342
pendekat 2	1.222	1.578	1.918	2.342

4.1.2. Skenario Kedatangan Kendaraan

Seperti telah dijelaskan pada sub bab 4.1.1, kedatangan kendaraan diasumsikan merupakan kedatangan lewat jenuh pada 300 detik pertama. Simulasi satuan waktu atau periode pengamatan kedatangan kendaraan adalah:

- Periode pengamatan 300 detik
- Periode pengamatan 240 detik
- Periode pengamatan 180 detik
- Periode pengamatan 120 detik

Kedatangan tersebut diukur oleh alat deteksi kendaraan, yang pada penelitian diasumsikan berjarak dalam satuan waktu dengan garis henti. Lokasi detektor pertama untuk identifikasi kedatangan kendaraan berdasarkan jarak dari garis henti untuk masing-masing periode pengamatan kedatangan kendaraan berdasarkan variasi kecepatan rata-rata kendaraan disajikan pada Tabel 4.3. Pada Tabel 4.3. terlihat bahwa semakin tinggi kecepatan rata-rata kendaraan maka semakin jauh lokasi detektor pertama dari garis henti. Misalnya apabila kecepatan rata-rata kendaraan adalah 60 km/jam, maka lokasi detektor pertama adalah 5000 meter atau 5 km dari garis henti, suatu jarak yang relatif jauh dan menimbulkan bias dalam prediksi kedatangan kendaraan. Untuk mencegah bias dalam deteksi

kedatangan kendaraan, maka diperlukan pemasangan detektor kendaraan pada jarak yang lebih dekat dengan garis henti.

Tabel 4.3. Lokasi Detektor Pertama dari Garis Henti Berdasarkan Kecepatan Rata-Rata Kendaraan Pada Ruas Jalan

kecepatan rata-rata kendaraan pada ruas jalan	periode pengamatan	jarak detektor dari garis henti
km/jam	detik	meter
20	300	1667
	240	1333
	180	1000
	120	667
30	300	2500
	240	2000
	180	1500
	120	1000
40	300	3333
	240	2667
	180	2000
	120	1333
50	300	4167
	240	3333
	280	3889
	120	1667
60	300	5000
	240	4000
	180	3000
	120	2000

Akumulasi arus kedatangan lewat jenuh 300 detik pertama untuk setiap periode pengamatan berdasarkan kedatangan kendaraan untuk periode pengamatan 300 detik dan *split* arus kedatangan per pendekat sebesar 50:50 pada masing-masing pendekat disajikan pada Tabel 4.4.

Contoh perhitungan untuk masing-masing periode adalah sebagai berikut:

a. Periode pengamatan 300 detik :

- kedatangan kendaraan 300 detik pertama pada DS=1,44 adalah:
 $1,44 \cdot 1697 \cdot 300 / 3600 = 204$ smp.

- Bila *split* arus per pendekat adalah 50:50, maka arus kedatangan lewat jenuh untuk DS =1,44 untuk masing-masing pendekat adalah 102 smp.

b. Periode pengamatan 240 detik :

- kedatangan kendaraan 300 detik pertama pada DS=1,44 adalah:
detik 0-240 : $1,44 \cdot 1697 \cdot 240 / 3600 = 164$ smp.
detik 241-480 : karena arus lewat jenuh terjadi pada 300 detik pertama, maka pada detik ke 241-300 memiliki DS=1,44 dan pada detik 301-480 memiliki DS=0,71 (asumsi tidak jenuh sesuai uraian sub bab 4.1.1), sehingga DS rata-rata menjadi : $[(1,44 \cdot (300-240)) + (0,71 \cdot (480-300))] \cdot 1/240 = 0,8925$.
Akumulasi arus kedatangan pada detik ke 241-480 adalah: $164 + (0,8925 \cdot 1697 \cdot 240 / 3600) = 264$ smp.
- Bila *split* arus per pendekat adalah 50:50, maka arus kedatangan lewat jenuh untuk DS =1,44 untuk masing-masing pendekat adalah:
detik 0-240 : 82 smp.
detik 241-480 : 132 smp

c. Periode pengamatan 180 detik :

- kedatangan kendaraan 300 detik pertama pada DS=1,44 adalah:
detik 0-180 : $1,44 \cdot 1697 \cdot 180 / 3600 = 122$ smp.
detik 181-360: karena arus lewat jenuh terjadi pada 300 detik pertama, maka pada detik ke 181-300 memiliki DS=1,44 dan pada detik 301-360 memiliki DS=0,71 (asumsi tidak jenuh sesuai uraian sub bab 4.1.1), sehingga DS rata-rata menjadi : $[(1,44 \cdot (300-180)) + (0,71 \cdot (360-300))] \cdot 1/180 = 1,1967$.
Akumulasi arus kedatangan pada detik ke 181-360 adalah:
 $122 + (1,1967 \cdot 1697 \cdot 180 / 3600) = 224$ smp
- Bila *split* arus per pendekat adalah 50:50, maka arus kedatangan lewat jenuh untuk DS =1,44 untuk masing-masing pendekat adalah:
detik 0-180 : 61 smp.
detik 181-360 : 112 smp

d. Periode pengamatan 120 detik :

- Akumulasi kedatangan kendaraan 300 detik pertama pada $DS=1,44$ adalah:

$$\text{detik 0-120} : 1,44 * 1697 * 120 / 3600 = 82 \text{ smp.}$$

$$\text{detik 121-240} : 82 + (1,44 * 1697 * 120 / 3600) = 164 \text{ smp.}$$

detik 241-360 : karena arus lewat jenuh terjadi pada 300 detik pertama, maka pada detik ke 241-300 memiliki $DS=1,44$ dan pada detik 301-360 memiliki $DS=0,71$ (asumsi tidak jenuh sesuai uraian sub bab 4.1.1), sehingga DS rata-rata menjadi : $[(1,44 * (300-240) + \{0,71 * (360-300)\}) * 1 / 120 = 1,075$. Akumulasi arus kedatangan pada detik ke 241-360 adalah: $164 + (1,075 * 1697 * 120 / 3600) = 224 \text{ smp}$

- Bila *split* arus per pendekat adalah 50:50, maka arus kedatangan lewat jenuh untuk $DS = 1,44$ untuk masing-masing pendekat adalah:

$$\text{detik 0-120} : 41 \text{ smp.}$$

$$\text{detik 121-240} : 82 \text{ smp}$$

$$\text{detik 241-360} : 112 \text{ smp}$$

Tabel 4.4. Asumsi Akumulasi Arus Kedatangan per Periode Berdasarkan Data
Periode 300 detik-Split 50:50 (smp)

periode pengamatan (detik)	pendekat	detik ke	Derajat Kejenuhan Total (2 pendekat) :			
			1.44	1.86	2.26	2.76
300	pendekat 1	300	102	132	160	195
	pendekat 2	300	102	132	160	195
240	pendekat 1	240	82	105	128	156
		480	132	162	190	225
	pendekat 2	240	82	105	128	156
		480	132	162	190	225
180	pendekat 1	180	61	79	96	117
		360	112	142	170	205
	pendekat 2	180	61	79	96	117
		360	112	142	170	205
120	pendekat 1	120	41	53	64	78
		240	82	106	128	156
		360	112	142	170	205
	pendekat 2	120	41	53	64	78
		240	82	106	128	156
		360	112	142	170	205

4.1.3. Skenario Simulasi

Sebagai kesimpulan dari uraian variasi derajat kejenuhan total (DS) dan periode pengamatan kedatangan kendaraan, maka skenario simulasi kontrol lalu lintas bersinyal di LPRJ pada kondisi arus lewat jenuh adalah sebagai berikut:

- Asumsi lama waktu pengamatan kedatangan kendaraan adalah 1 jam (3600 detik).
- Variasi derajat kejenuhan total (DS) pada 300 detik pertama adalah: 1,44; 1,86; 2,26 dan 2,76
- Arus kedatangan lewat jenuh terjadi pada 300 detik pertama dengan berbagai variasi nilai DS. Arus kedatangan setelah 300 detik pertama sampai akhir waktu pengamatan (detik ke 3600) adalah arus tidak jenuh, dengan asumsi besar derajat kejenuhan total (DS) sebesar 0,71.

- d. Simulasi satuan waktu atau periode pengamatan kedatangan kendaraan adalah: 300 detik, 240 detik, 180 detik, 120 detik.

Simulasi kontrol lalu lintas bersinyal dengan variasi DS yang merupakan arus lewat jenuh pada 300 detik pertama dan variasi periode pengamatan di atas, diterapkan pada LPRJ dengan variasi panjang LPRJ (10 meter sampai 200 meter), variasi kecepatan rata-rata pada LPRJ (20 km/jam dan 30 km/jam) dan variasi panjang waktu siklus (120 detik, 150 detik, 180 detik, 210 detik, 240 detik) seperti disajikan pada Tabel 4.5.

Tabel 4.5. Skenario Simulasi Kontrol Lalu Lintas Bersinyal pada LPRJ

Kecep. LPRJ (km/jam)	Panjang LPRJ (meter)	Waktu siklus (detik)	Kecep. LPRJ (km/am)	Panjang LPRJ (meter)	Waktu siklus (detik)
20	10	120,150,180,210,240	30	10	120,150,180,210,240
	15	120,150,180,210,240		15	120,150,180,210,240
	25	120,150,180,210,240		25	120,150,180,210,240
	50	120,150,180,210,240		50	120,150,180,210,240
	75	120,150,180,210,240		75	120,150,180,210,240
	100	120,150,180,210,240		100	120,150,180,210,240
	125	120,150,180,210,240		125	120,150,180,210,240
	150	120,150,180,210,240		150	120,150,180,210,240
	175	120,150,180,210,240		175	120,150,180,210,240
	200	120,150,180,210,240		200	120,150,180,210,240

4.2. Hasil Simulasi

4.2.1. Simulasi dengan Derajat Kejenuhan Total (DS) 1,44

Ringkasan hasil simulasi pada DS=1,44 dan *split* arus lalu lintas untuk kedua pendekat 50:50 untuk kondisi kecepatan rata-rata pada LPRJ (Sw) 20 km/jam disajikan pada Tabel 4.6, sedangkan untuk Sw=30 km/jam disajikan pada Tabel 4.7. Hasil pada kedua Tabel menunjukkan bahwa untuk setiap panjang LPRJ (Lw), hasil tundaan total *throughput* rata-rata dan lama periode lewat jenuh dibandingkan dalam persentase terhadap nilai pada periode pengamatan 120 detik dan waktu siklus 120 detik.

Pada kedua kecepatan yang dimulasikan, nilai *throughput* rata-rata dan lama periode lewat jenuh sama untuk seluruh periode pengamatan arus kedatangan kendaraan (120 detik, 180 detik, 240 detik dan 300 detik). Kesamaan nilai *throughput* rata-rata dan lama periode lewat jenuh ini disebabkan oleh besar

input arus yang sama sekalipun periode pengamatan *input* arus kedatangan tersebut berbeda. Hasil simulasi dengan $DS=1,44$ juga menunjukkan bahwa panjang LPRJ (L_w) maksimum yang dapat dilayani pada $Sw=20$ km/jam adalah 125 meter, sedangkan pada $Sw=30$ km/jam adalah 200 meter.

Tabel 4.6 menunjukkan bahwa pada $L_w=10$ meter, rentang periode pengamatan 120 detik sampai 240 detik, nilai tundaan total menurun sejalan dengan meningkatnya periode pengamatan, namun tundaan kembali meningkat setelah periode pengamatan 240 detik. Kondisi ini menunjukkan bahwa pada $L_w=10$ meter, untuk seluruh *input* waktu siklus (c), nilai tundaan total terkecil terjadi pada periode pengamatan 240 detik. Sedangkan pada $L_w>10$ meter, pada waktu siklus 120 detik, 150 detik, 180 detik dan 210 detik, kondisi yang sama terjadi dengan $L_w=10$ meter. Kondisi berbeda terjadi pada waktu siklus 240 detik. Pada $c=240$ detik, nilai tundaan total menurun sejalan dengan meningkatnya periode pengamatan, dan tundaan total terkecil terjadi pada periode pengamatan 300 detik. Sekalipun demikian, perbedaan nilai tundaan total antara periode pengamatan 300 detik dengan 240 detik untuk setiap nilai L_w tidak signifikan, yaitu kurang dari 1%.

Sedangkan pada $Sw=30$ km/jam, pada seluruh *input* waktu siklus, tundaan total terbesar juga terjadi pada periode pengamatan 120 detik. Tabel 4.7. menunjukkan bahwa pada $L_w=10$ meter dan rentang periode pengamatan 120 detik sampai 240 detik, nilai tundaan total menurun sejalan dengan meningkatnya periode pengamatan, namun tundaan kembali meningkat setelah periode pengamatan 240 detik. Pada $L_w>10$ meter, tundaan total terkecil terjadi pada periode pengamatan 300 detik dengan perbedaan nilai tundaan total antara periode pengamatan 300 detik dengan 240 detik yang tidak signifikan, yaitu kurang dari 1%.

Tabel 4.6. Perbandingan Kinerja pada $DS=1,44$, $Sw=20$ km/jam

Panjang LPRJ	Waktu Siklus	total tundaan (detik)				throughput rata-rata (smp/jam)				periode lewat jenuh
		Periode pengamatan (detik)				Periode pengamatan (detik)				
		120	180	240	300	120	180	240	300	
meter	(detik)									detik
10	120	38.636	37.596	37.436	38.492	1555,58	1555,58	1555,58	1555,58	1080
	150	36.470	32.670	32.270	34.820	1583,87	1583,87	1583,87	1583,87	1050
	180	37.719	30.159	28.539	30.231	1602,72	1602,72	1602,72	1602,72	1080
	210	41.061	31.471	27.096	27.999	1616,19	1616,19	1616,19	1616,19	1050
	240	47.675	35.835	27.995	27.803	1626,29	1626,29	1626,29	1626,29	960
	120	100,00%	97,31%	96,89%	99,63%	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%
	150	94,40%	84,56%	83,53%	90,13%	101,82%	101,82%	101,82%	101,82%	97,22%
	180	97,63%	78,06%	73,87%	78,25%	103,03%	103,03%	103,03%	103,03%	100,00%
	210	106,28%	81,46%	70,13%	72,47%	103,90%	103,90%	103,90%	103,90%	97,22%
	240	123,40%	92,75%	72,46%	71,96%	104,55%	104,55%	104,55%	104,55%	88,89%
25	120	52.260	51.220	51.060	52.116	1484,88	1484,88	1484,88	1484,88	1320
	150	45.390	41.590	41.190	43.740	1527,30	1527,30	1527,30	1527,30	1200
	180	45.356	37.796	36.176	37.868	1555,58	1555,58	1555,58	1555,58	1080
	210	47.248	37.658	33.283	34.186	1575,79	1575,79	1575,79	1575,79	1050
	240	52.200	40.360	32.520	32.328	1590,94	1590,94	1590,94	1590,94	960
	120	100,00%	98,01%	97,70%	99,72%	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%
	150	86,85%	79,58%	78,82%	83,70%	102,86%	102,86%	102,86%	102,86%	90,91%
	180	86,79%	72,32%	69,22%	72,46%	104,76%	104,76%	104,76%	104,76%	81,82%
	210	90,41%	72,06%	63,69%	65,41%	106,12%	106,12%	106,12%	106,12%	79,55%
	240	99,88%	77,23%	62,23%	61,86%	107,14%	107,14%	107,14%	107,14%	72,73%
50	120	107.440	106.400	106.240	107.296	1357,60	1357,60	1357,60	1357,60	2400
	150	71.784	67.984	67.584	70.134	1425,48	1425,48	1425,48	1425,48	1800
	180	62.429	54.869	53.249	54.941	1470,73	1470,73	1470,73	1470,73	1440
	210	59.806	50.216	45.841	46.744	1503,06	1503,06	1503,06	1503,06	1260
	240	61.740	49.900	42.060	41.868	1527,30	1527,30	1527,30	1527,30	1200
	120	100,00%	99,03%	98,88%	99,87%	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%
	150	66,81%	63,28%	62,90%	65,28%	105,00%	105,00%	105,00%	105,00%	75,00%
	180	58,11%	51,07%	49,56%	51,14%	108,33%	108,33%	108,33%	108,33%	60,00%
	210	55,66%	46,74%	42,67%	43,51%	110,71%	110,71%	110,71%	110,71%	52,50%
	240	57,46%	46,44%	39,15%	38,97%	112,50%	112,50%	112,50%	112,50%	50,00%
75	120	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	150	143.231	139.431	139.031	141.581	1323,66	1323,66	1323,66	1323,66	3150
	180	94.828	87.268	85.648	87.340	1385,88	1385,88	1385,88	1385,88	2160
	210	80.021	70.431	66.056	66.959	1430,33	1430,33	1430,33	1430,33	1680
	240	76.225	64.385	56.545	56.353	1463,66	1463,66	1463,66	1463,66	1440
	120	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	150	100,00%	97,35%	97,07%	98,85%	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%
	180	66,21%	60,93%	59,80%	60,98%	104,70%	104,70%	104,70%	104,70%	68,57%
	210	55,87%	49,17%	46,12%	46,75%	108,06%	108,06%	108,06%	108,06%	53,33%
	240	53,22%	44,95%	39,48%	39,34%	110,58%	110,58%	110,58%	110,58%	45,71%
100	120	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	150	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	180	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	210	118.667	109.077	105.605	105.605	1357,60	1357,60	1357,60	1357,60	2520
	240	99.667	87.827	79.795	79.795	1400,03	1400,03	1400,03	1400,03	1920
	120	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	150	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	180	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	210	100,00%	91,92%	88,99%	88,99%	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%
	240	83,99%	74,01%	67,24%	67,24%	103,13%	103,13%	103,13%	103,13%	76,19%
125	120	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	150	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	180	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	210	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	240	144.802	132.962	125.122	124.930	1336,39	1336,39	1336,39	1336,39	2880
	120	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	150	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	180	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	210	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	240	100,00%	91,82%	86,41%	86,28%	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%

Keterangan : dibandingkan terhadap nilai kinerja pada periode pengamatan dan waktu siklus terkecil dari setiap panjang LPRJ

Tabel 4.7. Perbandingan Kinerja pada $DS=1,44$, $Sw=30$ km/jam

Panjang LPRJ	Waktu Siklus	total tundaan (detik)				throughput rata-rata (smp/jam)				periode lewat jenuh
		Periode Pengamatan (detik)				Periode Pengamatan (detik)				
		120	180	240	300	120	180	240	300	
meter	(detik)	120	180	240	300	120	180	240	300	detik
10	120	36.345	35.305	35.145	36.201	1569,73	1569,73	1569,73	1569,73	1080
	150	34.738	30.938	30.538	33.088	1595,18	1595,18	1595,18	1595,18	1050
	180	36.192	28.632	27.012	28.704	1612,15	1612,15	1612,15	1612,15	1080
	210	39.823	30.233	25.858	27.999	1624,27	1624,27	1624,27	1616,19	1050
	240	46.770	34.930	27.090	26.898	1633,36	1633,36	1633,36	1633,36	960
	120	100%	97%	97%	100%	100%	100%	100%	100%	100%
	150	96%	85%	84%	91%	102%	102%	102%	102%	97%
	180	100%	79%	74%	79%	103%	103%	103%	103%	100%
	210	110%	83%	71%	77%	103%	103%	103%	103%	97%
240	129%	96%	75%	74%	104%	104%	104%	104%	89%	
25	120	43.260	42.220	42.060	43.116	1527,30	1527,30	1527,30	1527,30	1200
	150	39.935	36.135	35.735	38.285	1561,24	1561,24	1561,24	1561,24	1050
	180	40.774	33.214	31.594	33.286	1583,87	1583,87	1583,87	1583,87	1080
	210	43.536	33.946	29.571	30.474	1600,03	1600,03	1600,03	1600,03	1050
	240	49.485	37.645	29.805	29.613	1612,15	1612,15	1612,15	1612,15	960
	120	100%	98%	97%	100%	100%	100%	100%	100%	100%
	150	92%	84%	83%	89%	102%	102%	102%	102%	88%
	180	94%	77%	73%	77%	104%	104%	104%	104%	90%
	210	101%	78%	68%	70%	105%	105%	105%	105%	88%
240	114%	87%	69%	68%	106%	106%	106%	106%	80%	
50	120	64.212	63.172	63.012	64.068	1442,45	1442,45	1442,45	1442,45	1560
	150	52.193	48.393	47.993	50.543	1493,36	1493,36	1493,36	1493,36	1350
	180	49.510	41.950	40.330	42.022	1527,30	1527,30	1527,30	1527,30	1260
	210	49.115	39.525	35.150	36.053	1551,54	1551,54	1551,54	1551,54	1260
	240	53.255	41.415	33.575	33.383	1569,73	1569,73	1569,73	1569,73	1200
	120	148%	146%	146%	148%	94%	94%	94%	94%	130%
	150	121%	112%	111%	117%	98%	98%	98%	98%	113%
	180	114%	97%	93%	97%	100%	100%	100%	100%	105%
	210	114%	91%	81%	83%	102%	102%	102%	102%	105%
240	123%	96%	78%	77%	103%	103%	103%	103%	100%	
75	120	107.440	106.400	106.240	107.296	1357,60	1357,60	1357,60	1357,60	2400
	150	71.784	67.984	67.584	70.134	1425,48	1425,48	1425,48	1425,48	1800
	180	62.429	54.869	53.249	54.941	1470,73	1470,73	1470,73	1470,73	1440
	210	59.806	50.216	45.841	46.744	1503,06	1503,06	1503,06	1503,06	1260
	240	61.740	49.900	42.060	41.868	1527,30	1527,30	1527,30	1527,30	1200
	120	100%	99%	99%	100%	100%	100%	100%	100%	100%
	150	67%	63%	63%	65%	105%	105%	105%	105%	75%
	180	58%	51%	50%	51%	108%	108%	108%	108%	60%
	210	56%	47%	43%	44%	111%	111%	111%	111%	53%
240	57%	46%	39%	39%	113%	113%	113%	113%	50%	
100	120	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	150	109.570	105.770	105.370	107.920	1357,60	1357,60	1357,60	1357,60	2400
	180	81.465	73.905	72.285	73.977	1414,17	1414,17	1414,17	1414,17	1800
	210	70.518	60.928	56.553	57.456	1454,57	1454,57	1454,57	1454,57	1680
	240	70.116	58.276	50.436	50.244	1484,88	1484,88	1484,88	1484,88	1440
	120	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	150	100%	97%	96%	98%	100%	100%	100%	100%	100%
	180	74%	67%	66%	68%	104%	104%	104%	104%	75%
	210	64%	56%	52%	52%	107%	107%	107%	107%	70%
240	64%	53%	46%	46%	109%	109%	109%	109%	60%	
125	120	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	150	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	180	113.717	106.157	104.537	106.229	1357,60	1357,60	1357,60	1357,60	2520
	210	89.906	80.316	75.941	76.844	1406,09	1406,09	1406,09	1406,09	1890
	240	82.080	70.240	62.400	62.208	1442,45	1442,45	1442,45	1442,45	1680
	120	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	150	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	180	100%	93%	92%	93%	100%	100%	100%	100%	100%
	210	79%	71%	67%	68%	104%	104%	104%	104%	75%
240	72%	62%	55%	55%	106%	106%	106%	106%	67%	

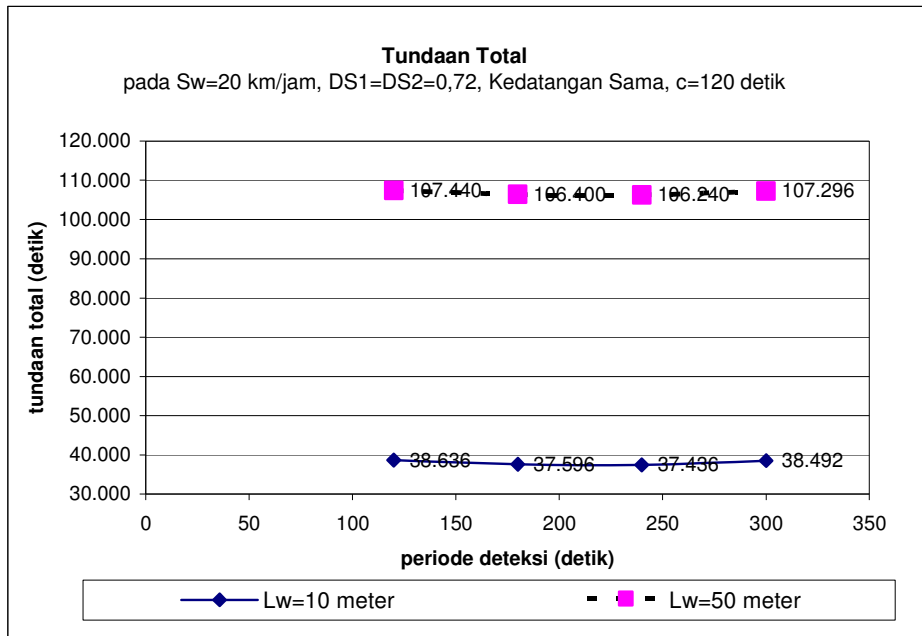
Lanjutan Tabel 4.7

Panjang LPRJ	Waktu Siklus	total tundaan (detik)				throughput rata-rata (smp/jam)				periode lewat jenuh
		Periode Pengamatan (detik)				Periode Pengamatan (detik)				
		120	180	240	300	120	180	240	300	
meter	(detik)	120	180	240	300	120	180	240	300	detik
150	120	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	150	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	180	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	210	118.667	109.077	104.702	105.605	1357.60	1357.60	1357.60	1357.60	2520
	240	99.667	87.827	79.987	79.795	1400,03	1400,03	1400,03	1400,03	1920
	120	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	150	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	180	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	210	100%	92%	88%	89%	100%	100%	100%	100%	100%
240	84%	74%	67%	67%	103%	103%	103%	103%	76%	
175	120	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	150	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	180	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	210	173.724	164.134	159.759	160.662	1309,11	1309,11	1309,11	1309,11	3570
	240	125.920	114.080	106.240	106.048	1357,60	1357,60	1357,60	1357,60	2400
	120	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	150	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	180	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	210	100%	94%	92%	92%	100%	100%	100%	100%	100%
240	72%	66%	61%	61%	104%	104%	104%	104%	67%	
200	120	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	150	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	180	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	210	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	240	171.246	159.406	151.566	151.374	1315,18	1315,18	1315,18	753,59	3360
	120	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	150	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	180	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	210	-	-	-	-	-	-	-	-	-
240	100%	93%	89%	88%	100%	100%	100%	57%	100%	

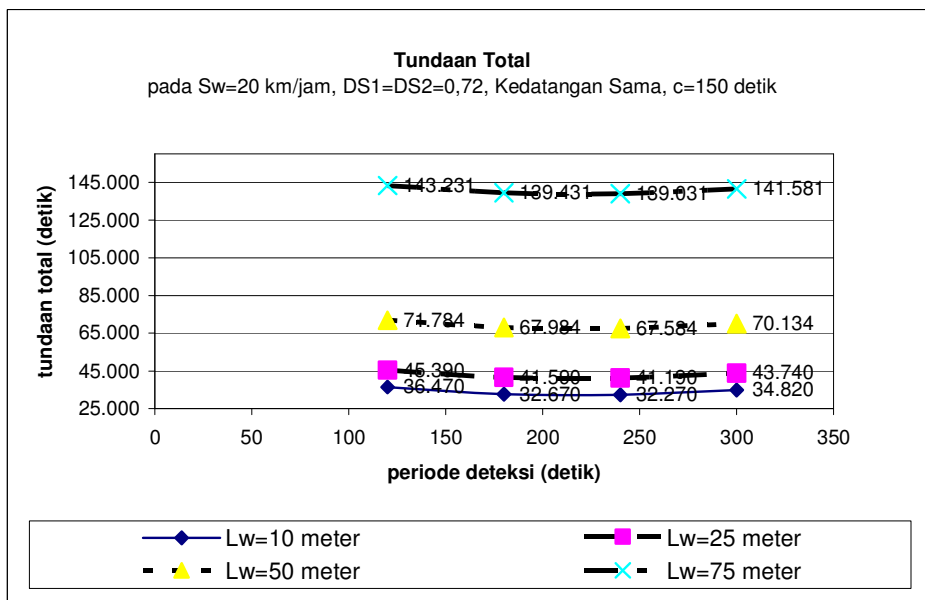
Keterangan : dibandingkan terhadap nilai kinerja pada periode pengamatan dan waktu siklus terkecil dari setiap panjang LPRJ

Periode Pengamatan Optimal

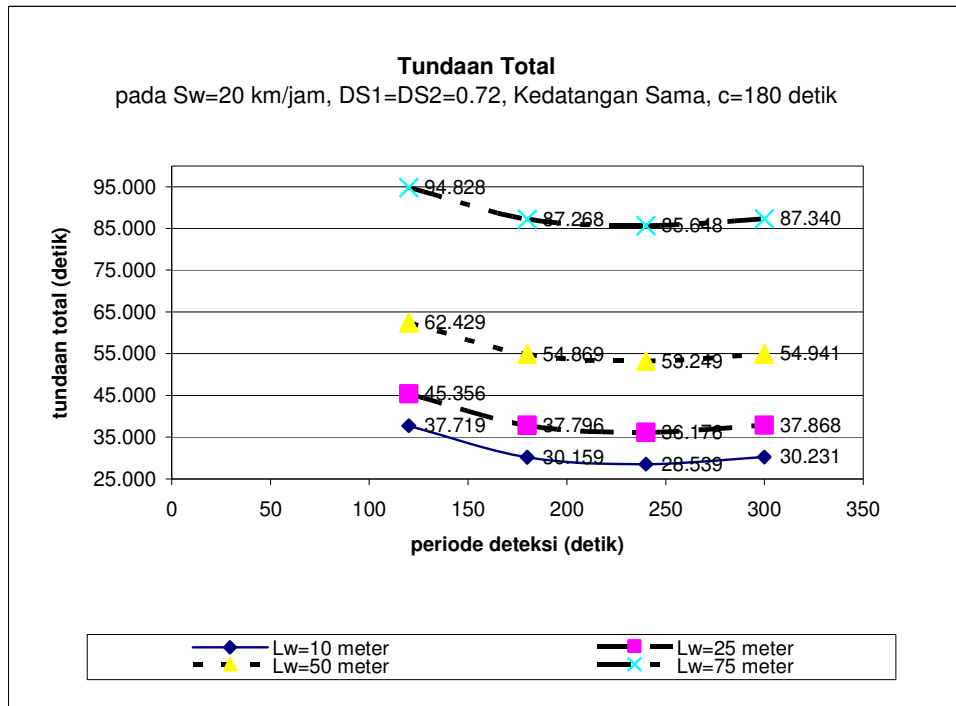
Hasil simulasi pada $DS=1,44$, *split* arus lalu lintas untuk kedua pendekatan 50:50 dan $Sw=20$ km/jam disajikan pada Gambar 4.1a sampai dengan Gambar 4.1e. Gambar 4.1 menunjukkan bahwa pada seluruh *input* waktu siklus (120 detik, 150 detik, 180 detik, 210 detik dan 240 detik), tundaan total terkecil pada periode pengamatan 240 detik. Kecenderungan yang sama juga terjadi pada $Sw=30$ km/jam, dimana tundaan total terkecil pada periode pengamatan 240 detik untuk seluruh *input* waktu siklus. Hasil simulasi pada $Sw=30$ km/jam disajikan pada Gambar 4.2a sampai Gambar 4.2e.



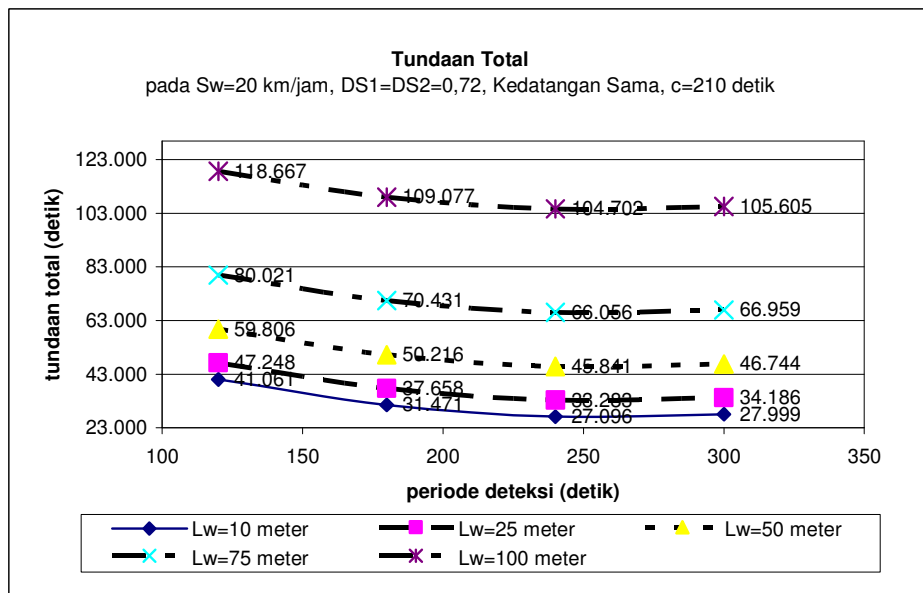
(a)



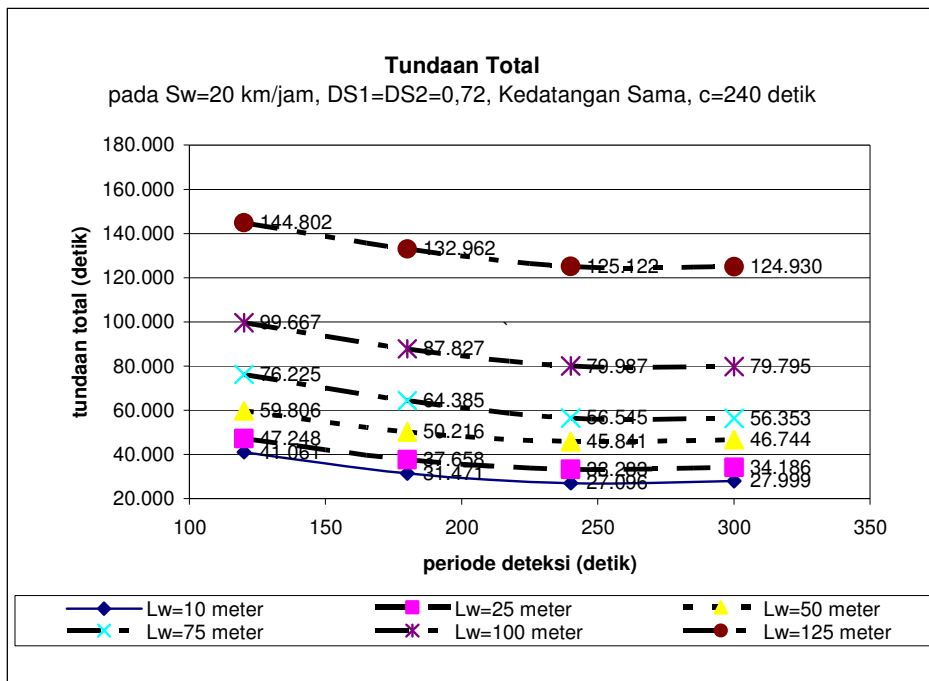
(b)



(c)

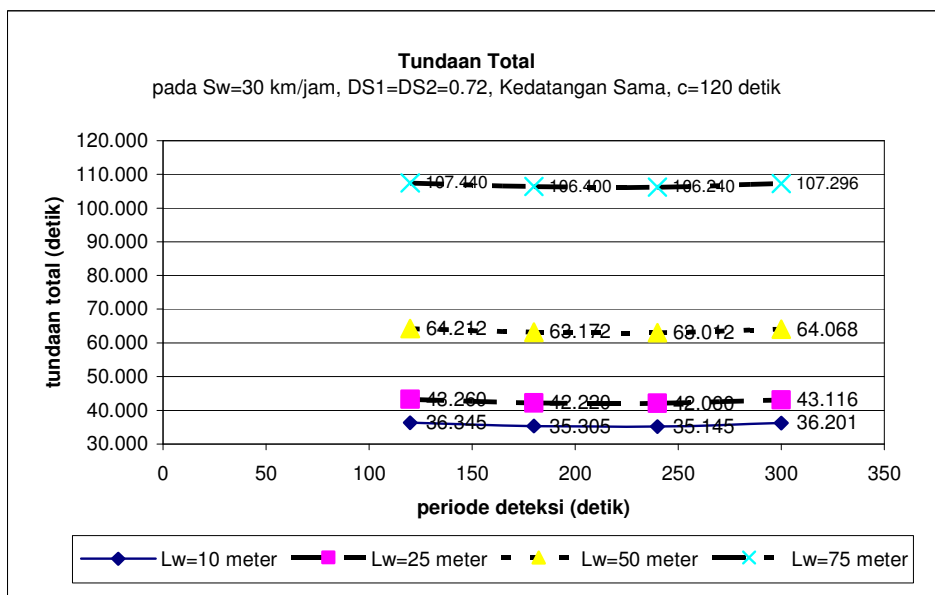


(d)

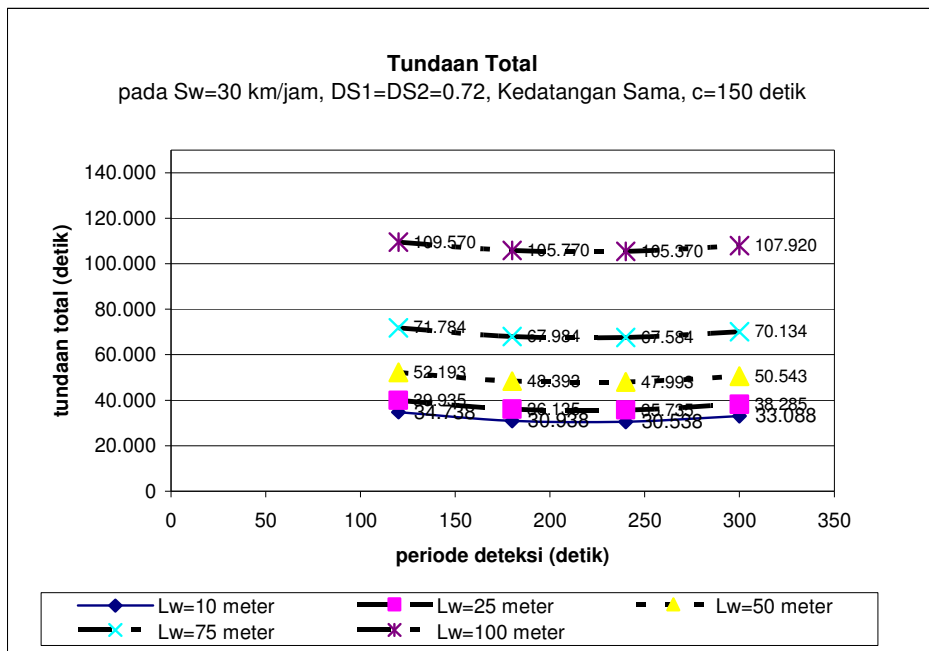


(e)

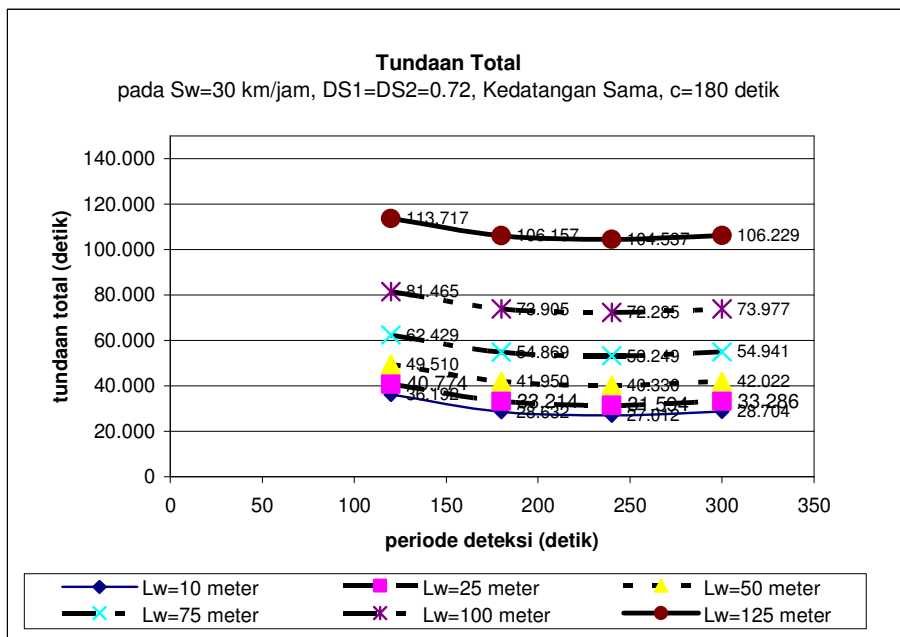
Gambar 4.1. Kinerja Kontrol Lalu Lintas Bersinyal di LPRJ pada DS = 1,44 dan Sw=20 km/jam Terhadap Variasi Periode Pengamatan dan Waktu Siklus



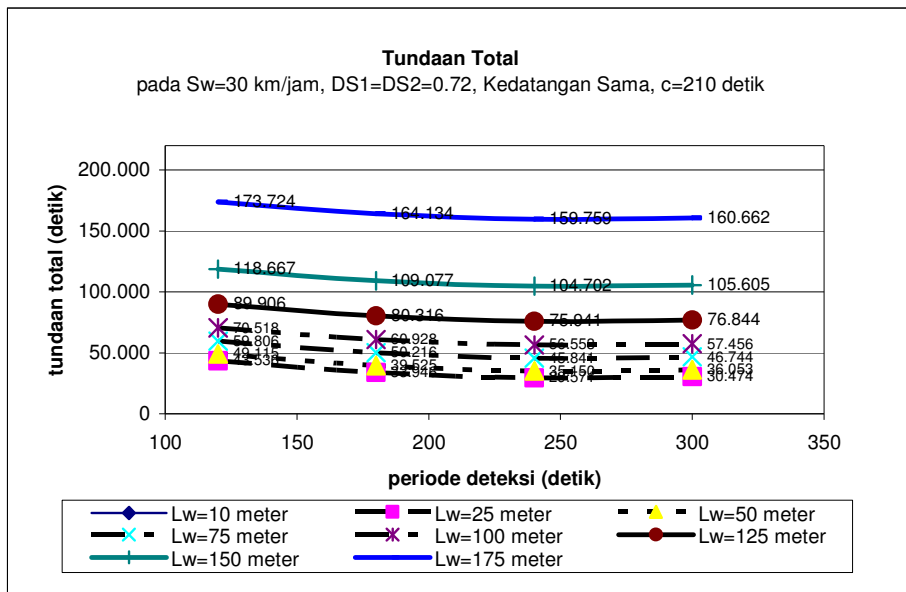
(a)



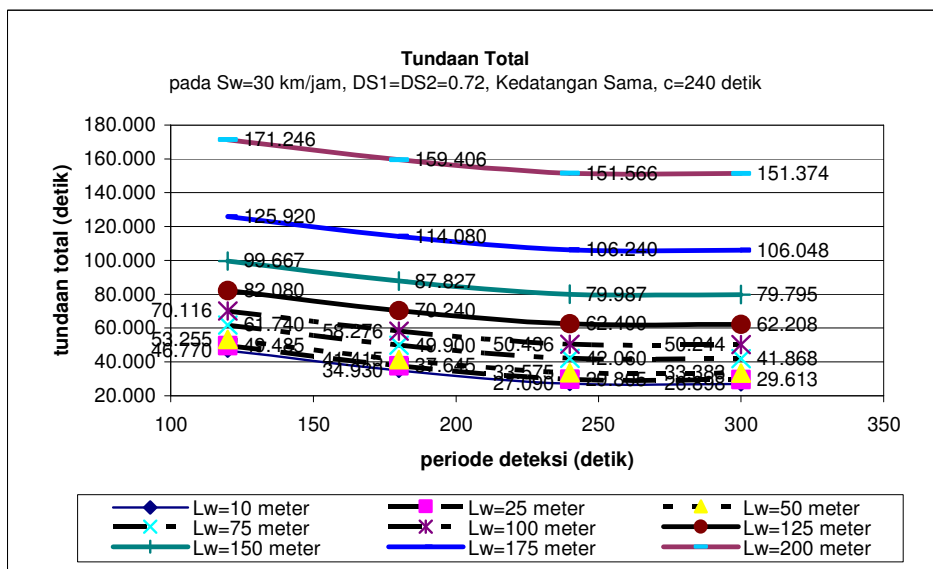
(b)



(c)



(d)

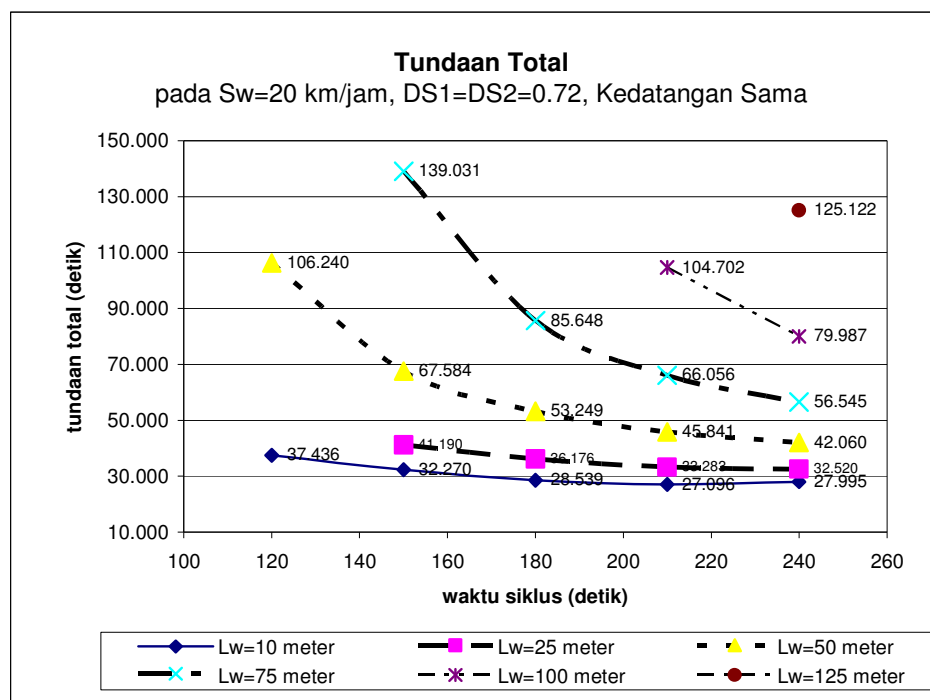


(e)

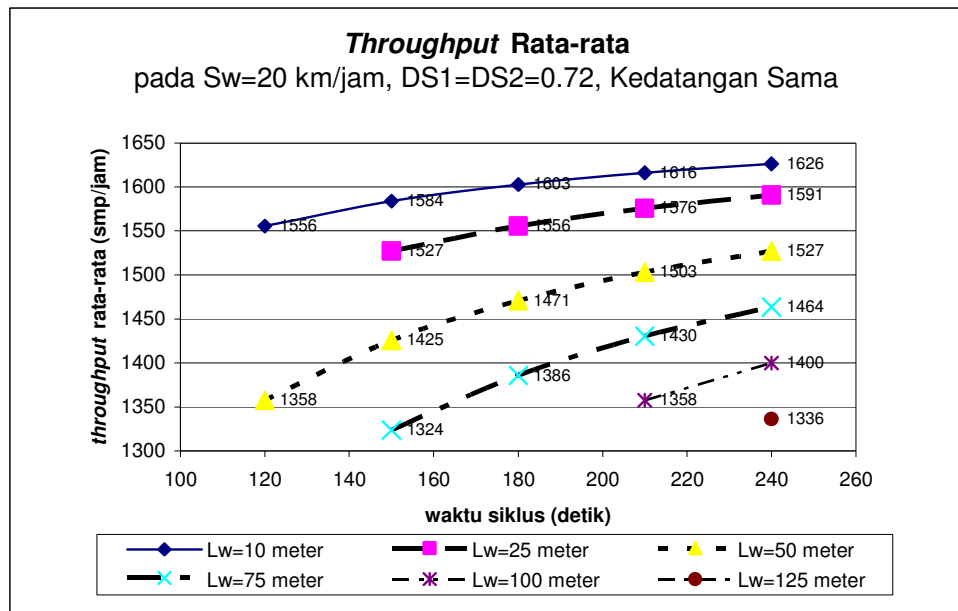
Gambar 4.2. Kinerja Kontrol Lalu Lintas Bersinyal di LPRJ pada $DS = 1,44$ dan $Sw=30$ km/jam Terhadap Variasi Periode Pengamatan dan Waktu Siklus

Waktu Siklus Optimal

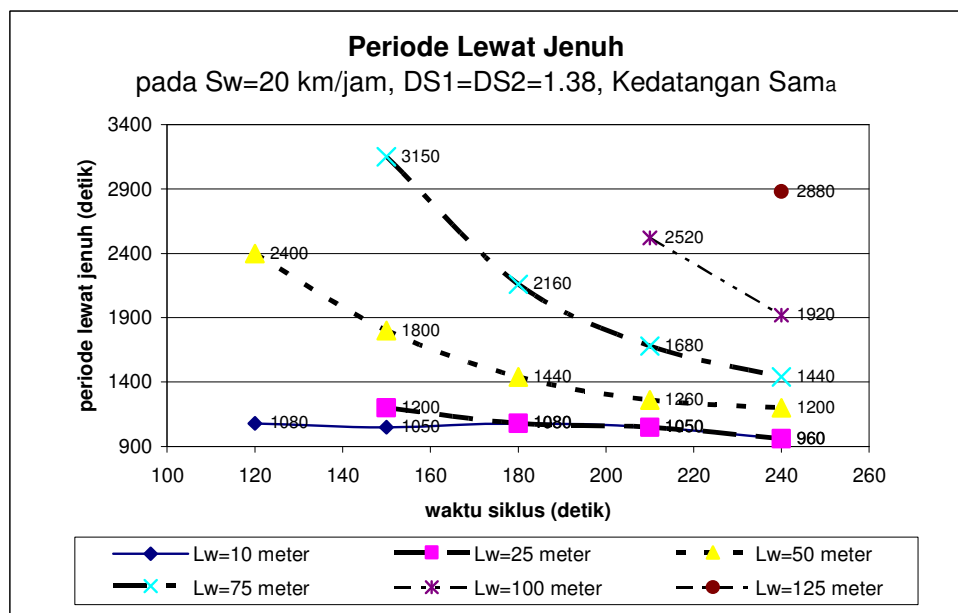
Rangkuman kinerja kontrol lalu lintas bersinyal pada variasi waktu siklus 120 detik, 150 detik, 180 detik, 210 detik dan 240 detik berupa tundaan total, *throughput* rata-rata dan lama periode lewat jenuh untuk $DS=1,44$, periode pengamatan arus kedatangan 240 detik pada $Sw=20$ km/jam dan $Sw=30$ km/jam disajikan pada Gambar 4.3a sampai Gambar 4.3c dan Gambar 4.4a sampai Gambar 4.4c. Kedua Gambar menunjukkan bahwa semakin tinggi waktu siklus menimbulkan hasil semakin kecil tundaan total, semakin besar *throughput* rata-rata dan semakin menurunnya lama periode lewat jenuh. Seperti telah disajikan pada Tabel 4.6 dan Tabel 4.7, untuk setiap Lw , perbedaan kinerja pada waktu siklus 240 detik dibandingkan dengan waktu siklus 120 detik berada pada rentang 20%-30% untuk tundaan total, 3%-12% untuk *throughput* rata-rata dan 10%-50% untuk lama periode lewat jenuh.



(a)

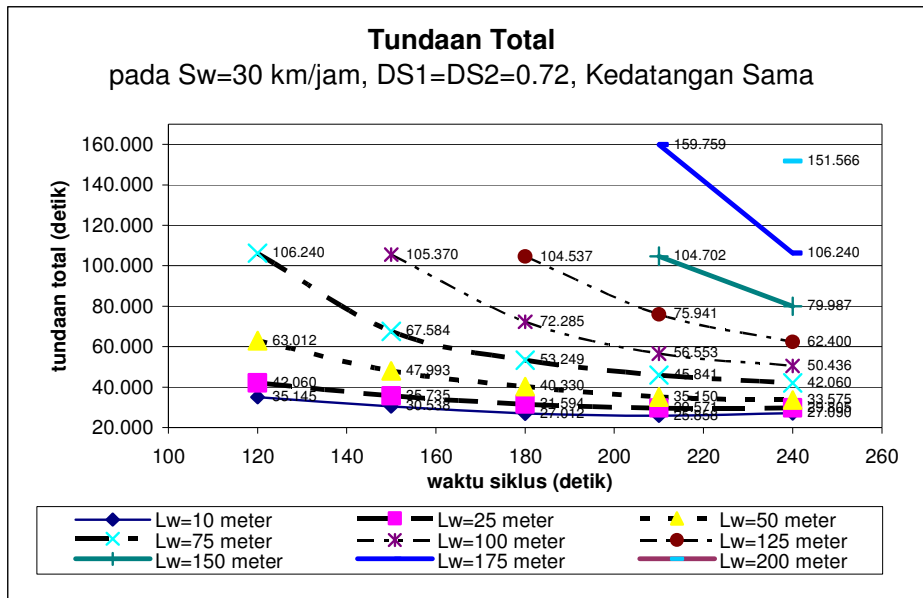


(b)

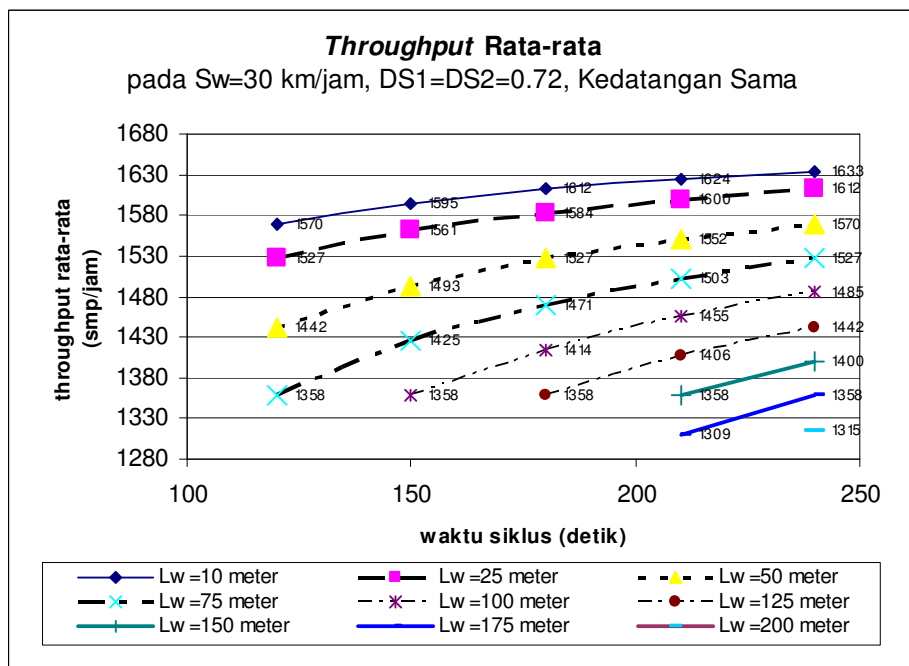


(c)

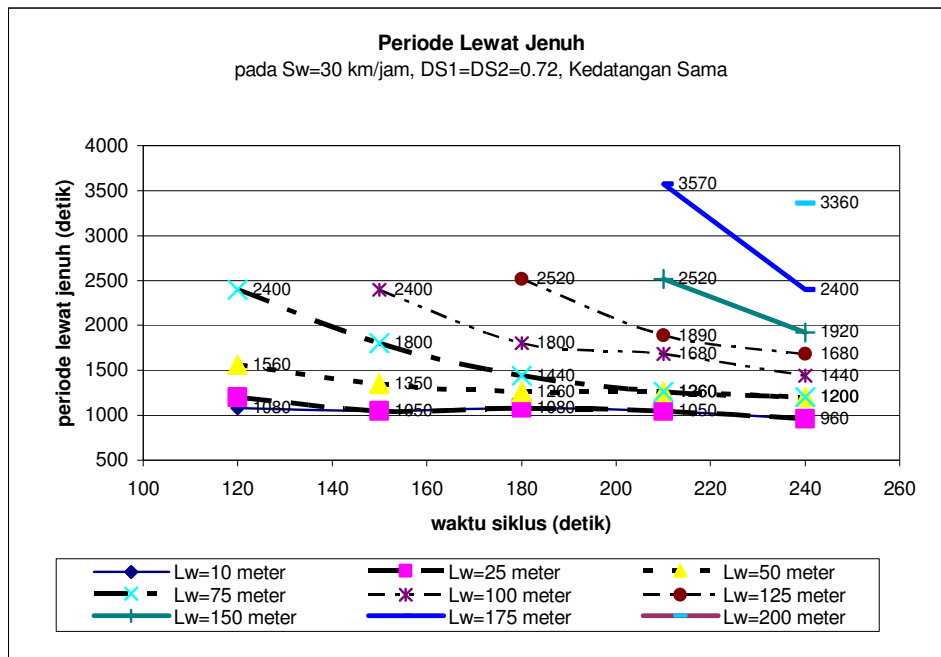
Gambar 4.3. Kontrol Lalu Lintas di LPRJ Pada Periode Pengamatan 240 detik, $DS=1,44$ dan $Sw=20$ km/jam Terhadap Waktu Siklus



a)



(b)



(c)

Gambar 4.4. Kinerja Kontrol Lalu Lintas Bersinyal di LPRJ pada Periode Pengamatan 240 detik, $DS=1,44$ dan $Sw=30$ km/jam Terhadap Waktu Siklus

Pada Tabel 4.8 disajikan persentase perbedaan kinerja antar waktu siklus pada $DS=1,44$, periode pengamatan 240 detik. Persentase perbedaan ini dibandingkan terhadap nilai tundaan total, *throughput* rata-rata dan lama periode lewat jenuh pada $c=120$ detik. Bila dibandingkan dengan kinerja pada $c=120$ detik, nilai tundaan total pada $c=240$ detik menurunkan tundaan total 40%-60%, meningkatkan *throughput* rata-rata 3%-11% dan menurunkan lama periode lewat jenuh 10%-30%.

Perbedaan kinerja antara simulasi pada $Sw=20$ km/jam dan $Sw=30$ km/jam dengan $DS=1,44$, periode pengamatan 240 detik disajikan pada Tabel 4.9. Pada Tabel ini terlihat bahwa peningkatan kecepatan rata-rata pada LPRJ dari 20 km/jam menjadi 30 km/jam menimbulkan peningkatan kinerja yang cukup signifikan.

Tabel 4.8. Persentase Perbedaan Kinerja Antar Waktu Siklus Pada $DS=1,44$ -
Periode Pengamatan 240 Detik

Panjang LPRJ	Waktu Siklus	tundaan total	throughput rata-rata	periode lewat jenuh	tundaan total	throughput rata-rata	periode lewat jenuh
meter	detik	detik	smp/jam	detik	detik	smp/jam	detik
		Sw=20 km/jam			Sw=30 km/jam		
10	120	37.436	1555,58	1080	35.145	1.570	1.080
	150	32.270	1583,87	1050	30.538	1.595	1.050
	180	28.539	1602,72	1080	27.012	1.612	1.080
	210	27.096	1616,19	1050	25.858	1.624	1.050
	240	27.995	1626,29	960	27.090	1.633	960
	120	100%	100%	100%	100%	100%	100%
	150	86%	102%	97%	87%	102%	97%
	180	76%	103%	100%	77%	103%	100%
	210	72%	104%	97%	74%	103%	97%
	240	75%	105%	89%	77%	104%	89%
25	120	51.060	1484,88	1320	42.060	1.527	1.200
	150	41.190	1527,30	1200	35.735	1.561	1.050
	180	36.176	1555,58	1080	31.594	1.584	1.080
	210	33.283	1575,79	1050	29.571	1.600	1.050
	240	32.520	1590,94	960	29.805	1.612	960
	120	100%	100%	100%	100%	100%	100%
	150	81%	103%	91%	85%	102%	88%
	180	71%	105%	82%	75%	104%	90%
	210	65%	106%	80%	70%	105%	88%
	240	64%	107%	73%	71%	106%	80%
50	120	106.240	1357,60	2400	63.012	1.442	1.560
	150	67.584	1425,48	1800	47.993	1.493	1.350
	180	53.249	1470,73	1440	40.330	1.527	1.260
	210	45.841	1503,06	1260	35.150	1.552	1.260
	240	42.060	1527,30	1200	33.575	1.570	1.200
	120	100%	100%	100%	100%	100%	100%
	150	64%	105%	75%	76%	104%	87%
	180	50%	108%	60%	64%	106%	81%
	210	43%	111%	53%	56%	108%	81%
	240	40%	113%	50%	53%	109%	77%
75	120	-	-	-	106.240	1.358	2.400
	150	139.031	1323,66	3150	67.584	1.425	1.800
	180	85.648	1385,88	2160	53.249	1.471	1.440
	210	66.056	1430,33	1680	45.841	1.503	1.260
	240	56.545	1463,66	1440	42.060	1.527	1.200
	120	-	-	-	99%	100%	100%
	150	100%	100%	100%	100%	100%	100%
	180	62%	105%	69%	79%	103%	80%
	210	48%	108%	53%	68%	105%	70%
	240	41%	111%	46%	62%	107%	67%

Lanjutan Tabel 4.8.

Panjang LPRJ	Waktu Siklus	tundaan total	throughput rata-rata	periode lewat jenuh	tundaan total	throughput rata-rata	periode lewat jenuh
meter	detik	detik	smp/jam	detik	detik	smp/jam	detik
		Sw=20 km/jam			Sw=30 km/jam		
100	120	-	-	-	-	-	-
	150	-	-	-	105.370	1.358	2.400
	180	-	-	-	72.285	1.414	1.800
	210	105.605	1357,60	2520	56.553	1.455	1.680
	240	79.795	1400,03	1920	50.436	1.485	1.440
	120	-	-	-	-	-	-
	150	-	-	-	96%	100%	100%
	180	-	-	-	66%	104%	75%
	210	100%	100%	100%	100%	100%	100%
240	76%	103%	76%	89%	102%	86%	
125	120	-	-	-	-	-	-
	150	-	-	-	-	-	-
	180	-	-	-	104.537	1.358	2.520
	210	-	-	-	75.941	1.406	1.890
	240	125.122	1336,39	2880	62.400	1.442	1.680
	120	-	-	-	-	-	-
	150	-	-	-	-	-	-
	180	-	-	-	100%	100%	100%
	210	-	-	-	73%	104%	75%
240	100%	100%	100%	60%	106%	67%	
150	120	-	-	-	-	-	-
	150	-	-	-	-	-	-
	180	-	-	-	-	-	-
	210	-	-	-	104.702	1.358	2.520
	240	-	-	-	79.987	1.400	1.920
	120	-	-	-	-	-	-
	150	-	-	-	-	-	-
	180	-	-	-	-	-	-
	210	-	-	-	100%	100%	100%
240	-	-	-	76%	103%	76%	
175	120	-	-	-	-	-	-
	150	-	-	-	-	-	-
	180	-	-	-	-	-	-
	210	-	-	-	159.759	1.309	3.570
	240	-	-	-	106.240	1.358	2.400
	120	-	-	-	-	-	-
	150	-	-	-	-	-	-
	180	-	-	-	-	-	-
	210	-	-	-	100%	100%	100%
240	-	-	-	67%	104%	67%	
200	120	-	-	-	-	-	-
	150	-	-	-	-	-	-
	180	-	-	-	-	-	-
	210	-	-	-	-	-	-
	240	-	-	-	151.566	1.315	3.360
	120	-	-	-	-	-	-
	150	-	-	-	-	-	-
	180	-	-	-	-	-	-
	210	-	-	-	-	-	-
240	-	-	-	100%	100%	100%	

Tabel 4.9. Persentase Perbedaan Kinerja Antara Sw=20 km/jam Dengan Sw=30 km/jam, DS=1,44 – Periode Pengamatan 240 Detik

Lw	c	tundaan total	throughput rata-rata	periode lewat jenuh	tundaan total	throughput rata-rata	periode lewat jenuh	tundaan total	throughput rata-rata	periode lewat jenuh
		Sw=20 km/jam			Sw=30 km/jam			perbedaan		
10	120	37.436	1555,58	1080	35.145	1.570	1.080	6%	1%	0%
	150	32.270	1583,87	1050	30.538	1.595	1.050	5%	1%	0%
	180	28.539	1602,72	1080	27.012	1.612	1.080	5%	1%	0%
	210	27.096	1616,19	1050	25.858	1.624	1.050	5%	0%	0%
	240	27.995	1626,29	960	27.090	1.633	960	3%	0%	0%
25	120	51.060	1484,88	1320	42.060	1.527	1.200	18%	3%	9%
	150	41.190	1527,30	1200	35.735	1.561	1.050	13%	2%	13%
	180	36.176	1555,58	1080	31.594	1.584	1.080	13%	2%	0%
	210	33.283	1575,79	1050	29.571	1.600	1.050	11%	2%	0%
	240	32.520	1590,94	960	29.805	1.612	960	8%	1%	0%
50	120	106.240	1357,60	2400	63.012	1.442	1.560	41%	6%	35%
	150	67.584	1425,48	1800	47.993	1.493	1.350	29%	5%	25%
	180	53.249	1470,73	1440	40.330	1.527	1.260	24%	4%	13%
	210	45.841	1503,06	1260	35.150	1.552	1.260	23%	3%	0%
	240	42.060	1527,30	1200	33.575	1.570	1.200	20%	3%	0%
75	120	-	-	-	106.240	1.358	2.400	-	-	-
	150	139.031	1323,66	3150	67.584	1.425	1.800	51%	8%	43%
	180	85.648	1385,88	2160	53.249	1.471	1.440	38%	6%	33%
	210	66.056	1430,33	1680	45.841	1.503	1.260	31%	5%	25%
	240	56.545	1463,66	1440	42.060	1.527	1.200	26%	4%	17%
100	120	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	150	-	-	-	105.370	1.358	2.400	-	-	-
	180	-	-	-	72.285	1.414	1.800	-	-	-
	210	105.605	1357,60	2520	56.553	1.455	1.680	46%	7%	33%
	240	79.795	1400,03	1920	50.436	1.485	1.440	37%	6%	25%
125	120	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	150	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	180	-	-	-	104.537	1.358	2.520	-	-	-
	210	-	-	-	75.941	1.406	1.890	-	-	-
	240	125.122	1336,39	2880	62.400	1.442	1.680	50%	8%	42%

4.2.2. Simulasi dengan Derajat Kejenuhan Total (DS) 1,86

Ringkasan hasil simulasi pada DS=1,86 dan *split* arus lalu lintas untuk kedua pendekat 50:50 untuk kondisi kecepatan rata-rata pada LPRJ (Sw) 20 km/jam dan 30 km/jam disajikan pada Tabel 4.10 dan Tabel 4.11. Seperti pada analisis untuk DS=1,44, untuk setiap panjang LPRJ (Lw), hasil tundaan total *throughput* rata-rata dan lama periode lewat jenuh dibandingkan dalam persentase terhadap nilai pada periode pengamatan 120 detik dan waktu siklus 120 detik.

Tabel 4.10 dan Tabel 4.11 menunjukkan bahwa pada periode pengamatan 120 detik sampai 240 detik, nilai tundaan total menurun sejalan dengan meningkatnya periode pengamatan, namun tundaan kembali meningkat setelah periode pengamatan 240 detik. Kondisi ini menunjukkan bahwa pada seluruh Lw, untuk seluruh *input* waktu siklus (c), nilai tundaan total terkecil terjadi pada periode pengamatan 240 detik.

Pada kedua kecepatan yang disimulasikan, nilai *throughput* rata-rata dan lama periode lewat jenuh sama untuk seluruh periode pengamatan arus kedatangan kendaraan (120 detik, 180 detik, 240 detik dan 300 detik). Hasil simulasi dengan DS=1,86 juga menunjukkan bahwa panjang LPRJ (Lw) maksimum yang dapat dilayani pada Sw=20 km/jam adalah 100 meter, sedangkan pada Sw=30 km/jam adalah 125 meter.

Tabel 4.10. Perbandingan Kinerja Pada DS=1,86, Sw=20 km/jam

Panjang LPRJ	Waktu Siklus	total tundaan (detik)				<i>throughput</i> rata-rata (smp/jam)				periode lewat jenuh
		Periode Pengamatan (detik)				Periode Pengamatan (detik)				
		120	180	240	300	120	180	240	300	
meter	(detik)	120	180	240	300	120	180	240	300	detik
10	120	110.691	109.171	108.291	110.547	1555,58	1555,58	1555,58	1555,58	1680
	150	102.500	97.500	96.275	100.850	1583,87	1583,87	1583,87	1583,87	1650
	180	101.968	92.248	89.098	92.320	1602,72	1602,72	1602,72	1602,72	1620
	210	105.461	92.931	86.613	88.619	1616,19	1616,19	1616,19	1616,19	1470
	240	111.468	95.788	85.548	85.836	1626,29	1626,29	1626,29	1626,29	1440
	120	100,00%	98,63%	97,83%	99,87%	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%
	150	92,60%	88,08%	86,98%	91,11%	101,82%	101,82%	101,82%	101,82%	98,21%
	180	92,12%	83,34%	80,49%	83,40%	103,03%	103,03%	103,03%	103,03%	96,43%
	210	95,27%	83,95%	78,25%	80,06%	103,90%	103,90%	103,90%	103,90%	87,50%
240	100,70%	86,54%	77,29%	77,55%	104,55%	104,55%	104,55%	104,55%	85,71%	
25	120	144.201	142.681	141.801	144.057	1484,88	1484,88	1484,88	1484,88	2160
	150	123.995	118.995	117.770	122.345	1527,30	1527,30	1527,30	1527,30	1950
	180	118.268	108.548	105.398	108.620	1555,58	1555,58	1555,58	1555,58	1800
	210	117.502	104.972	98.655	100.660	1575,79	1575,79	1575,79	1575,79	1680
	240	120.353	104.673	94.433	94.721	1590,94	1590,94	1590,94	1590,94	1680
	120	100,00%	98,95%	98,34%	99,90%	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%
	150	85,99%	82,52%	81,67%	84,84%	102,86%	102,86%	102,86%	102,86%	90,28%
	180	82,02%	75,28%	73,09%	75,33%	104,76%	104,76%	104,76%	104,76%	83,33%
	210	81,48%	72,80%	68,41%	69,81%	106,12%	106,12%	106,12%	106,12%	77,78%
240	83,46%	72,59%	65,49%	65,69%	107,14%	107,14%	107,14%	107,14%	77,78%	

Lanjutan Tabel 4.10

Panjang LPRJ	Waktu Siklus	total tundaan (detik)				throughput rata-rata (smp/jam)				periode lewat jenuh
		Periode Pengamatan (detik)				Periode Pengamatan (detik)				
		120	180	240	300	120	180	240	300	
meter	(detik)	120	180	240	300	120	180	240	300	detik
50	120	0	0	0	0	0,00	0,00	0,00	0,00	0
	150	191.552	186.552	185.327	189.902	1425,48	1425,48	1425,48	1425,48	2700
	180	160.947	151.227	148.077	151.299	1470,73	1470,73	1470,73	1470,73	2340
	210	148.068	135.538	129.220	131.226	1503,06	1503,06	1503,06	1503,06	2100
	240	145.382	129.702	119.462	119.750	1527,30	1527,30	1527,30	1527,30	1920
	120	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	150	100,00%	97,39%	96,75%	99,14%	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%
	180	84,02%	78,95%	77,30%	78,99%	103,17%	103,17%	103,17%	103,17%	86,67%
75	210	77,30%	70,76%	67,46%	68,51%	105,44%	105,44%	105,44%	105,44%	77,78%
	240	75,90%	67,71%	62,37%	62,52%	107,14%	107,14%	107,14%	107,14%	71,11%
	120	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	150	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	180	243.422	233.702	230.552	233.774	1385,88	1385,88	1385,88	1385,88	3240
	210	198.591	186.061	179.744	181.749	1430,33	1430,33	1430,33	1430,33	2730
	240	180.750	165.070	154.830	155.118	1463,66	1463,66	1463,66	1463,66	2400
	120	-	-	-	-	-	-	-	-	-
100	150	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	180	100,00%	96,01%	94,71%	96,04%	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%
	210	81,58%	76,44%	73,84%	74,66%	103,21%	103,21%	103,21%	103,21%	84,26%
	240	74,25%	67,81%	63,61%	63,72%	105,61%	105,61%	105,61%	105,61%	74,07%
	120	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	150	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	180	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	210	-	-	-	-	-	-	-	-	-
100	240	239.326	223.646	213.406	213.694	1400,03	1400,03	1400,03	1400,03	3120
	120	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	150	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	180	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	210	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	120	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	150	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	240	100,00%	93,45%	89,17%	89,29%	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%

Keterangan : dibandingkan terhadap nilai kinerja pada periode pengamatan dan waktu siklus terkecil dari setiap panjang LPRJ

Tabel 4.11. Perbandingan Kinerja Pada DS=1,86, Sw=30 km/jam

Panjang LPRJ	Waktu Siklus	total tundaan (detik)				throughput rata-rata (smp/jam)				periode lewat jenuh
		Periode Pengamatan (detik)				Periode Pengamatan (detik)				
		120	180	240	300	120	180	240	300	
meter	(detik)	120	180	240	300	120	180	240	300	detik
10	120	105.148	103.628	102.748	105.004	1569,73	1569,73	1569,73	1569,73	1680
	150	99.556	94.556	93.331	97.906	1595,18	1595,18	1595,18	1595,18	1500
	180	100.541	90.821	87.671	90.893	1612,15	1612,15	1612,15	1612,15	1440
	210	103.036	90.506	84.188	86.194	1624,27	1624,27	1624,27	1624,27	1470
	240	109.432	93.752	83.512	83.800	1633,36	1633,36	1633,36	1633,36	1440
	120	100,00%	98,55%	97,72%	99,86%	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%
	150	94,68%	89,93%	88,76%	93,11%	101,62%	101,62%	101,62%	101,62%	89,29%
	180	95,62%	86,37%	83,38%	86,44%	102,70%	102,70%	102,70%	102,70%	85,71%
25	210	97,99%	86,07%	80,07%	81,97%	103,47%	103,47%	103,47%	103,47%	87,50%
	240	104,07%	89,16%	79,42%	79,70%	104,05%	104,05%	104,05%	104,05%	85,71%
	120	121.862	120.342	119.462	121.718	1527,30	1527,30	1527,30	1527,30	1920
	150	111.056	106.056	104.831	109.406	1561,24	1561,24	1561,24	1561,24	1650
	180	108.841	99.121	95.971	99.193	1583,87	1583,87	1583,87	1583,87	1620
	210	107.999	95.469	89.151	91.157	1600,03	1600,03	1600,03	1600,03	1680
	240	115.541	99.861	89.621	89.909	1612,15	1612,15	1612,15	1612,15	1440
	120	100,00%	98,75%	98,03%	99,88%	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%
25	150	91,13%	87,03%	86,02%	89,78%	102,22%	102,22%	102,22%	102,22%	85,94%
	180	89,31%	81,34%	78,75%	81,40%	103,70%	103,70%	103,70%	103,70%	84,38%
	210	88,62%	78,34%	73,16%	74,80%	104,76%	104,76%	104,76%	104,76%	87,50%
	240	94,81%	81,95%	73,54%	73,78%	105,56%	105,56%	105,56%	105,56%	75,00%

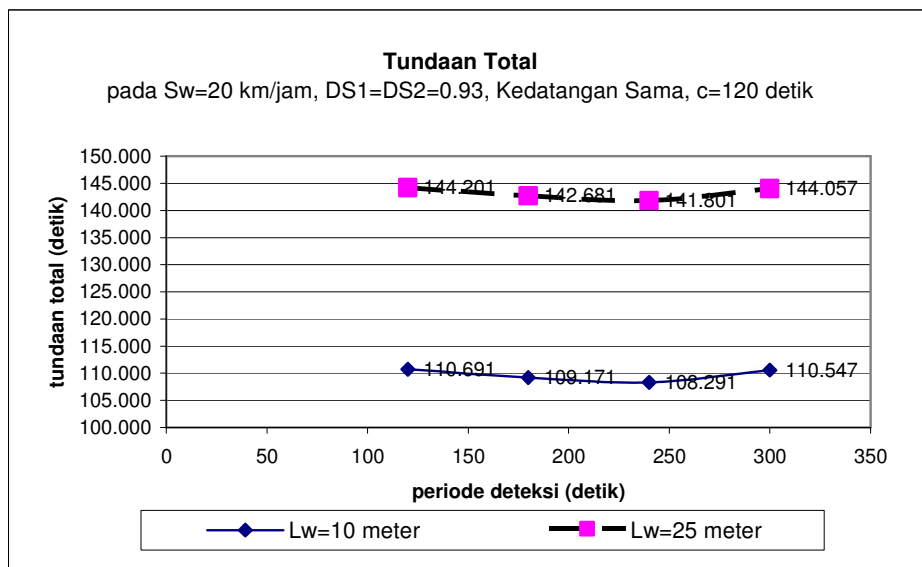
Lanjutan Tabel 4. 11

Panjang LPRJ	Waktu Siklus	total tundaan (detik)				throughput rata-rata (smp/jam)				periode lewat jenuh
		Periode Pengamatan (detik)				Periode Pengamatan (detik)				
		120	180	240	300	120	180	240	300	
meter	(detik)									detik
50	120	173.999	172.479	171.599	173.855	1442,45	1442,45	1442,45	1442,45	2520
	150	141.767	136.767	135.542	140.117	1493,36	1493,36	1493,36	1493,36	2100
	180	129.585	119.865	116.715	119.937	1527,30	1527,30	1527,30	1527,30	1980
	210	127.005	114.475	108.158	110.163	1551,54	1551,54	1551,54	1551,54	1680
	240	128.668	112.988	102.748	103.036	1569,73	1569,73	1569,73	1569,73	1680
	120	100,00%	99,13%	98,62%	99,92%	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%
	150	81,48%	78,60%	77,90%	80,53%	103,53%	103,53%	103,53%	103,53%	83,33%
	180	74,47%	68,89%	67,08%	68,93%	105,88%	105,88%	105,88%	105,88%	78,57%
75	210	72,99%	65,79%	62,16%	63,31%	107,56%	107,56%	107,56%	107,56%	66,67%
	240	73,95%	64,94%	59,05%	59,22%	108,82%	108,82%	108,82%	108,82%	66,67%
	120	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	150	191.552	186.552	185.327	189.902	1425,48	1425,48	1425,48	1425,48	2700
	180	160.947	151.227	148.077	151.299	1470,73	1470,73	1470,73	1470,73	2340
	210	148.068	135.538	129.220	131.226	1503,06	1503,06	1503,06	1503,06	2100
	240	145.382	129.702	119.462	119.750	1527,30	1527,30	1527,30	1527,30	1920
	120	-	-	-	-	-	-	-	-	-
100	150	100,00%	97,39%	96,75%	99,14%	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%
	180	84,02%	78,95%	77,30%	78,99%	103,17%	103,17%	103,17%	103,17%	86,67%
	210	77,30%	70,76%	67,46%	68,51%	105,44%	105,44%	105,44%	105,44%	77,78%
	240	75,90%	67,71%	62,37%	62,52%	107,14%	107,14%	107,14%	107,14%	71,11%
	120	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	150	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	180	208.680	198.960	195.810	199.032	1414,17	1414,17	1414,17	1414,17	2880
	210	178.038	165.508	159.191	161.196	1454,57	1454,57	1454,57	1454,57	2520
125	240	167.721	152.041	141.801	142.089	1484,88	1484,88	1484,88	1484,88	2160
	120	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	150	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	180	100,00%	95,34%	93,83%	95,38%	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%
	210	85,32%	79,31%	76,28%	77,25%	102,86%	102,86%	102,86%	102,86%	87,50%
	240	80,37%	72,86%	67,95%	68,09%	105,00%	105,00%	105,00%	105,00%	75,00%
	120	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	150	-	-	-	-	-	-	-	-	-
150	180	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	210	224.044	211.514	205.197	207.202	1406,09	1406,09	1406,09	1406,09	2940
	240	196.348	180.668	170.428	170.716	1442,45	1442,45	1442,45	1442,45	2640
	120	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	150	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	180	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	210	100,00%	94,41%	91,59%	92,48%	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%
	240	87,64%	80,64%	76,07%	76,20%	102,59%	102,59%	102,59%	102,59%	89,80%
150	120	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	150	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	180	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	210	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	240	239.326	223.646	213.406	213.694	1400,03	1400,03	1400,03	1400,03	3120
	120	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	150	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	180	-	-	-	-	-	-	-	-	-
210	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
240	100,00%	93,45%	89,17%	89,29%	0,58%	0,58%	0,58%	0,58%	1,30%	

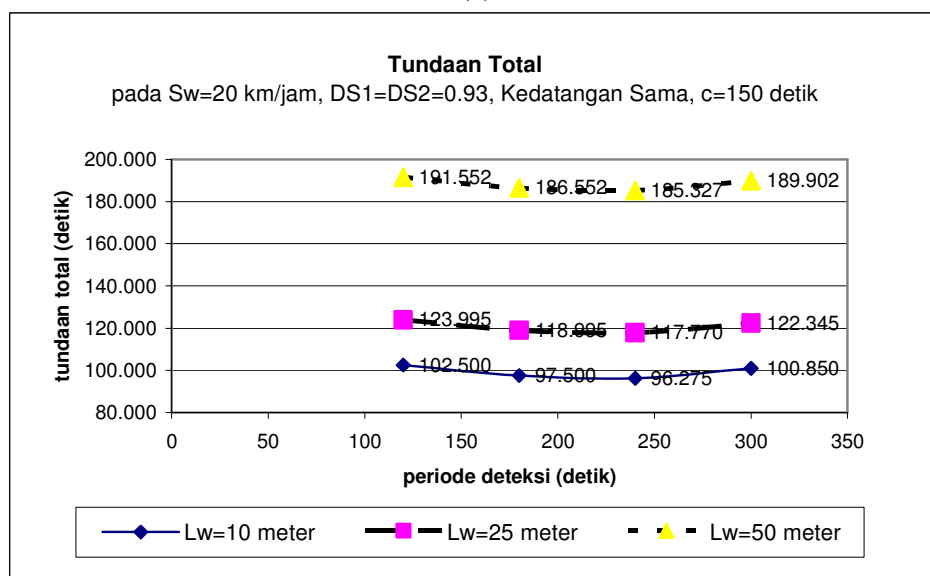
Keterangan : dibandingkan terhadap nilai kinerja pada periode pengamatan dan waktu siklus terkecil dari setiap panjang LPRJ

Periode Pengamatan Optimal

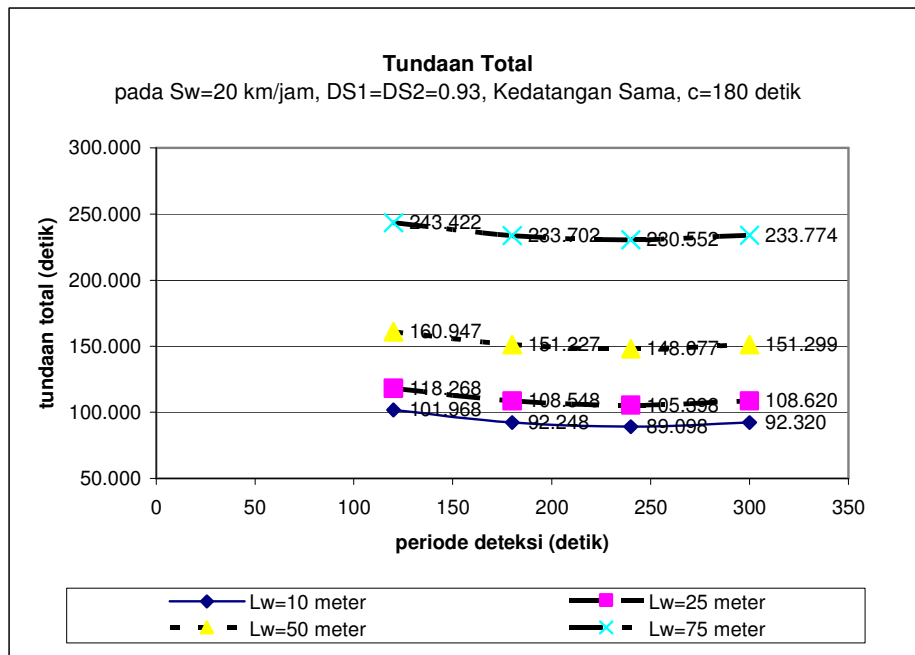
Hasil simulasi pada $DS=1,86$, *split* arus lalu lintas untuk kedua pendekat 50:50 dan $Sw=20$ km/jam dan $Sw=30$ km/jam disajikan pada Gambar 4.5a sampai Gambar 4.5e dan Gambar 4.6a sampai Gambar 4.6e. Gambar 4.5 dan Gambar 4.6 menunjukkan bahwa pada seluruh *input* waktu siklus (120 detik, 150 detik, 180 detik, 210 detik, 240 detik), tundaan total terkecil terjadi pada periode pengamatan 240 detik.



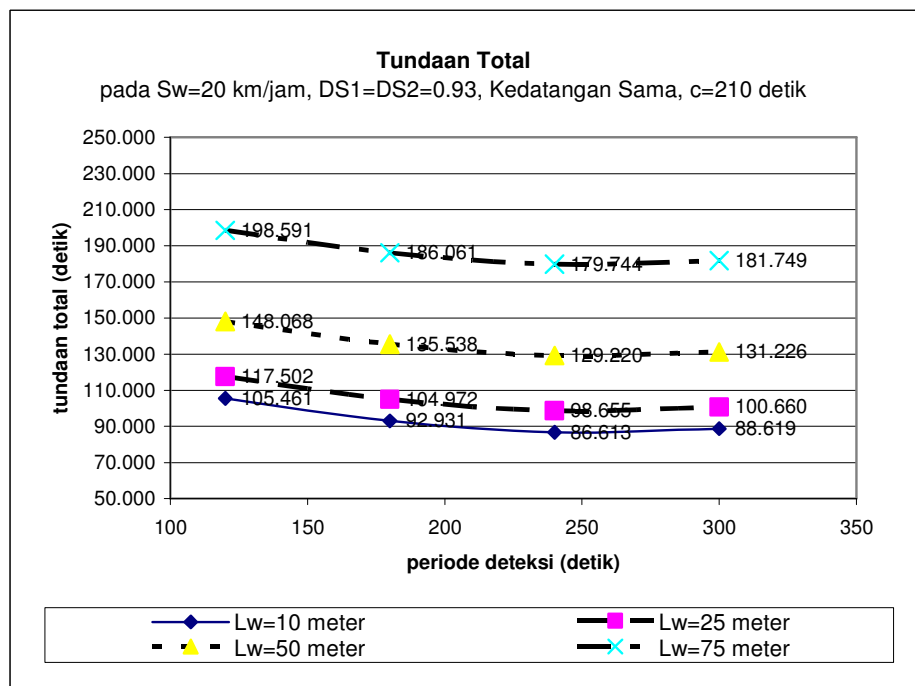
(a)



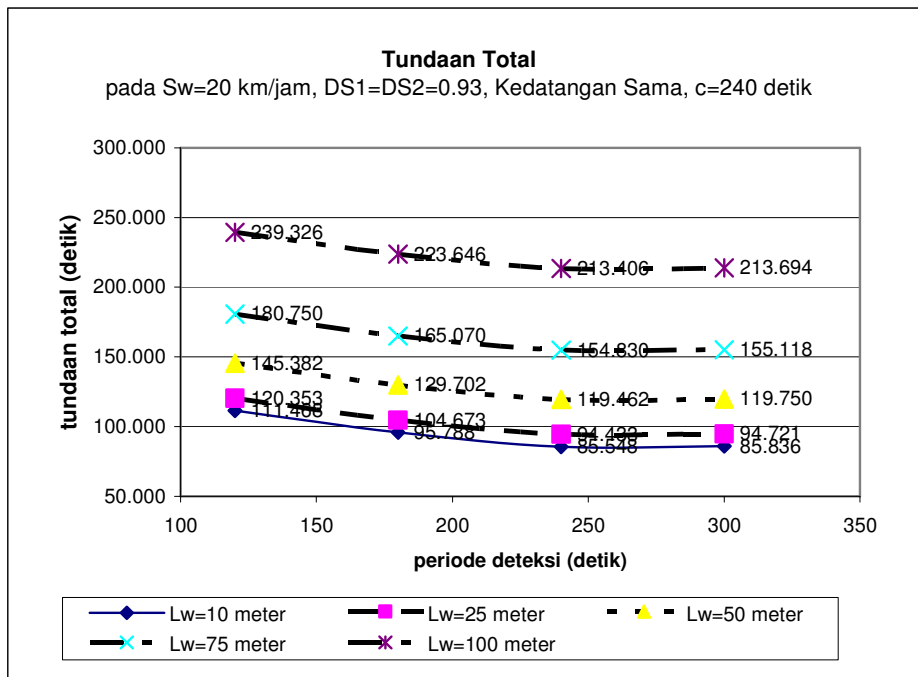
(b)



(c)

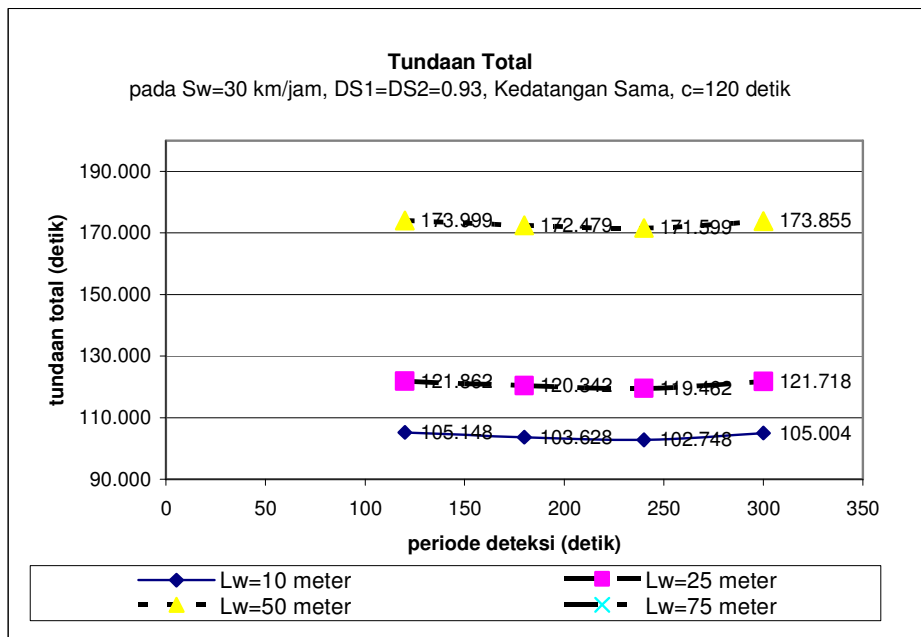


(d)

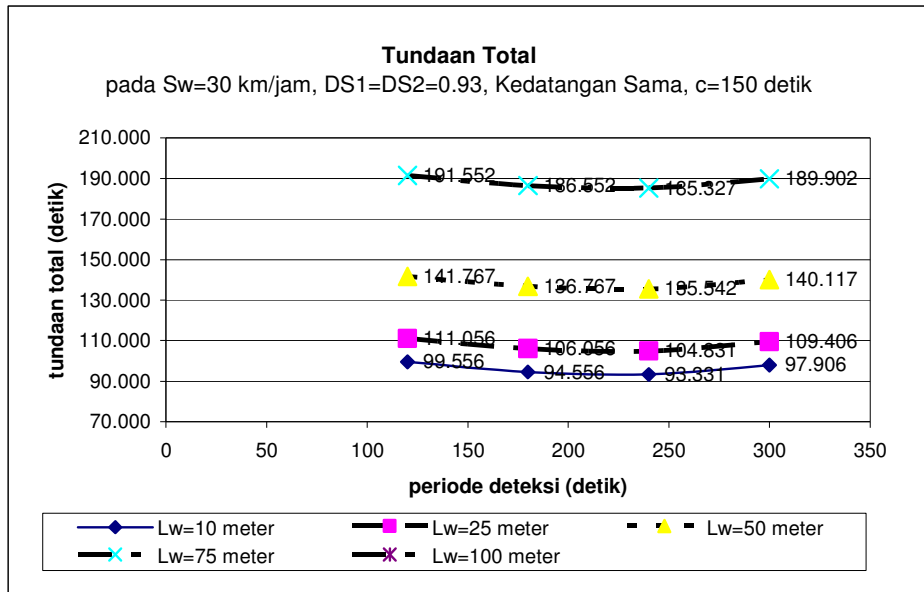


(e)

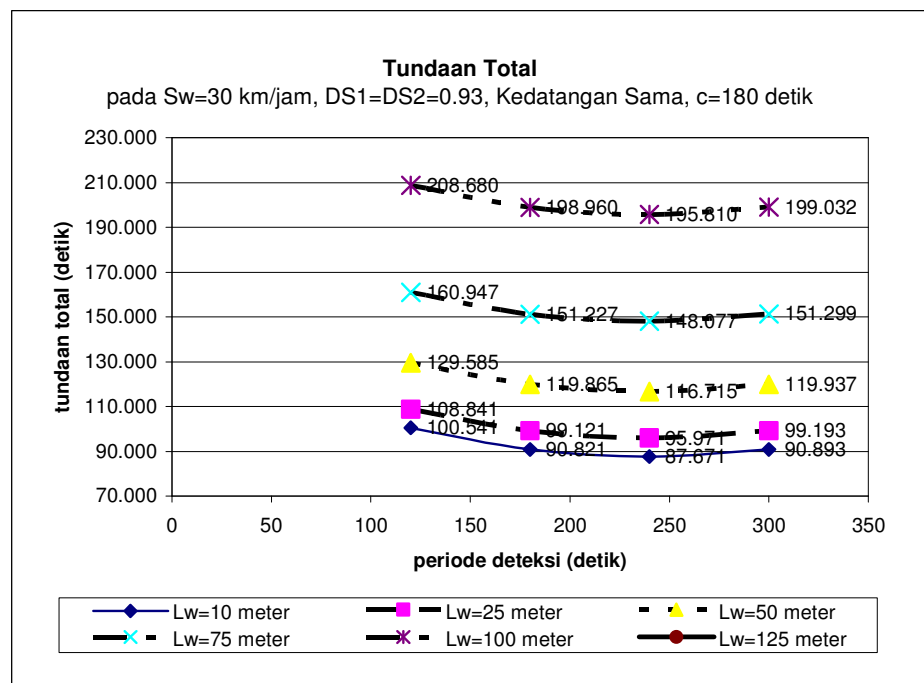
Gambar 4.5. Kinerja Kontrol Lalu Lintas Bersinyal di LPRJ pada DS = 1,86 dan Sw=20 km/jam Terhadap Variasi Periode Pengamatan dan Waktu Siklus



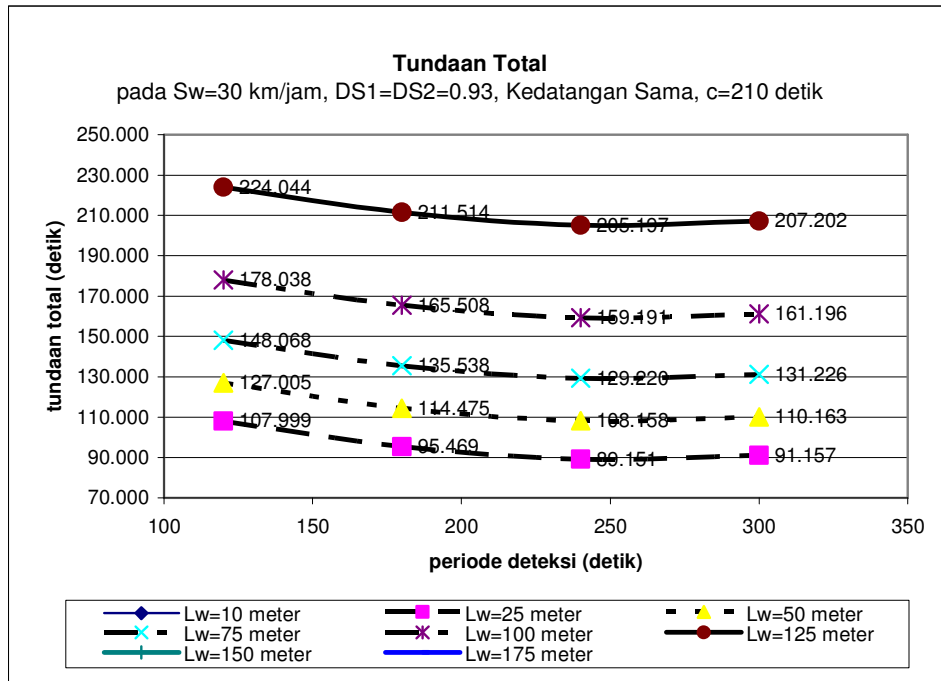
(a)



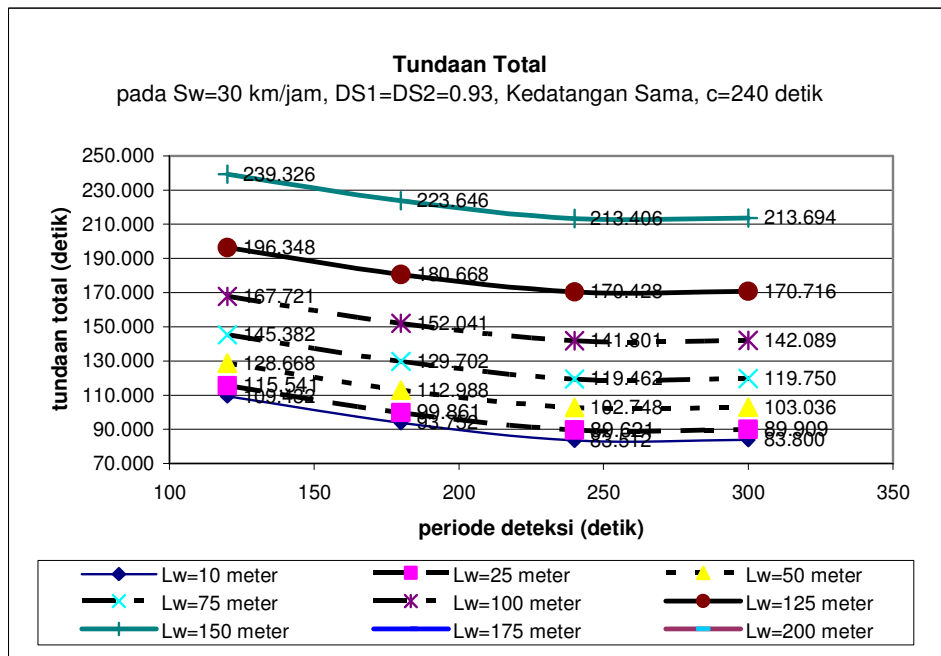
(b)



(c)



(d)

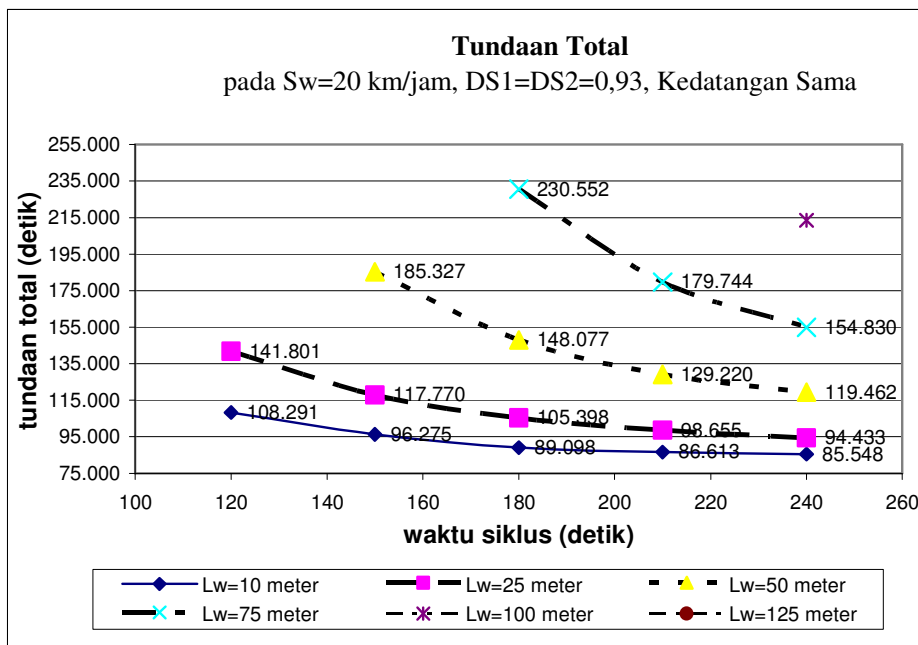


(e)

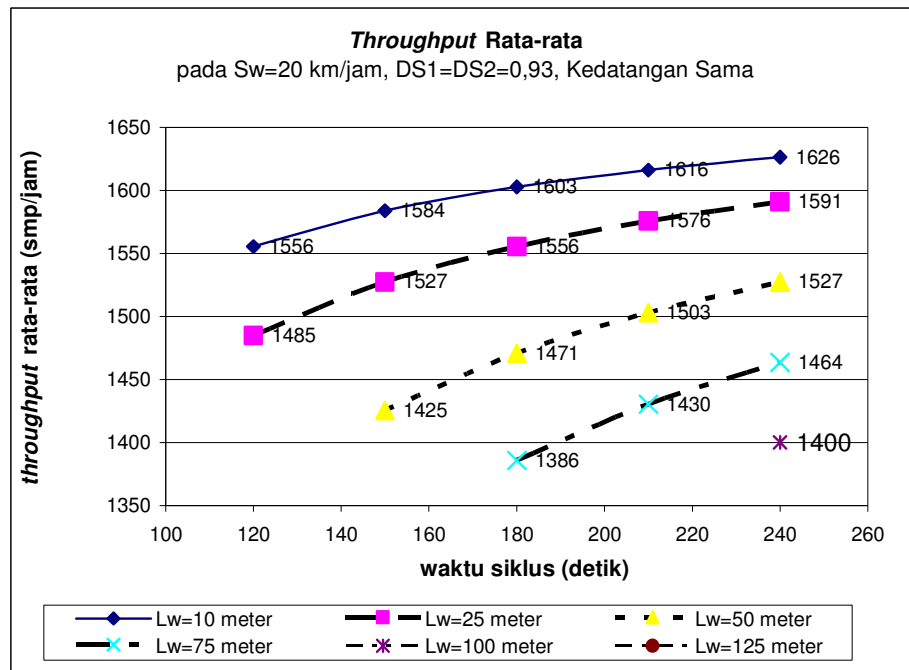
Gambar 4.6. Kinerja Kontrol Lalu Lintas Bersinyal di LPRJ pada $DS = 1,86$ dan $Sw=30$ km/jam Terhadap Variasi Periode Pengamatan dan Waktu Siklus

Waktu Siklus Optimal

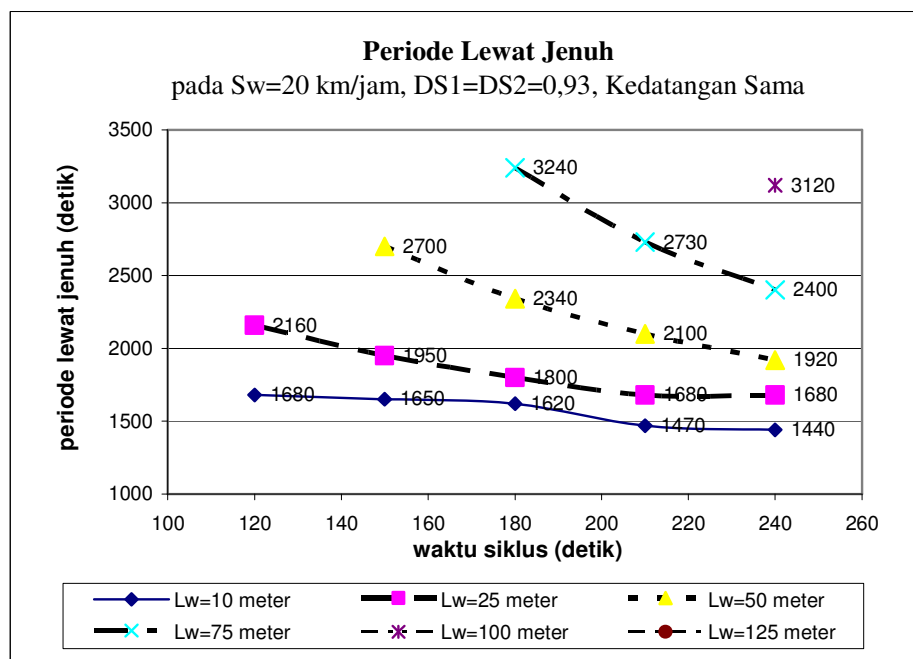
Rangkuman kinerja kontrol lalu lintas bersinyal pada variasi waktu siklus 120 detik, 150 detik, 180 detik, 210 detik dan 240 detik berupa tundaan total, *throughput* rata-rata dan lama periode lewat jenuh untuk DS=1,86, periode pengamatan arus kedatangan 240 detik pada Sw=20 km/jam dan Sw=30 km/jam disajikan pada Gambar 4.7a sampai Gambar 4.7c dan Gambar 4.8a sampai Gambar 4.8c. Hasil simulasi menunjukkan bahwa tundaan total terkecil, *throughput* rata-rata terbesar dan lama periode lewat jenuh terkecil terjadi pada c=240 detik.



(a)

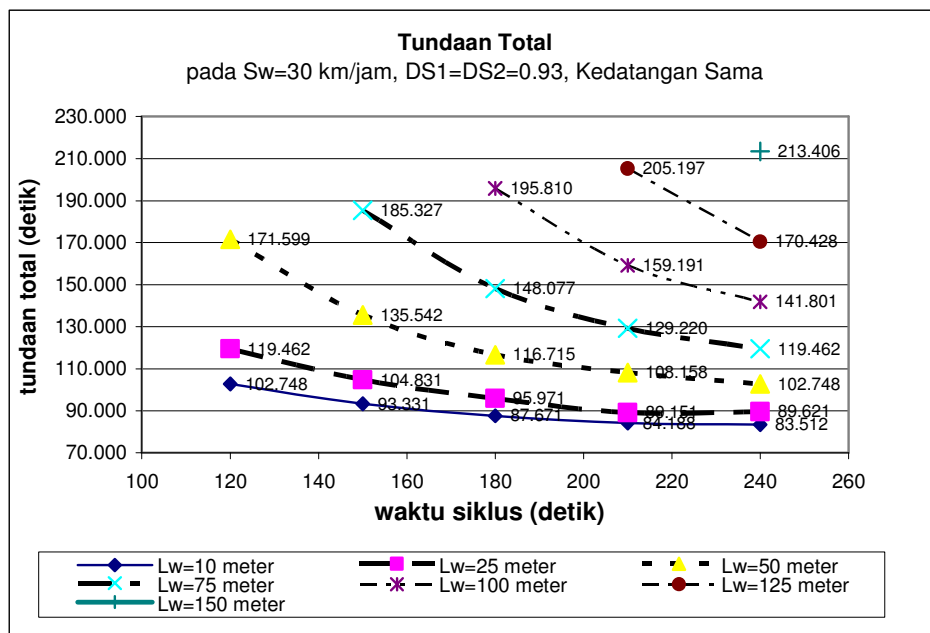


(b)

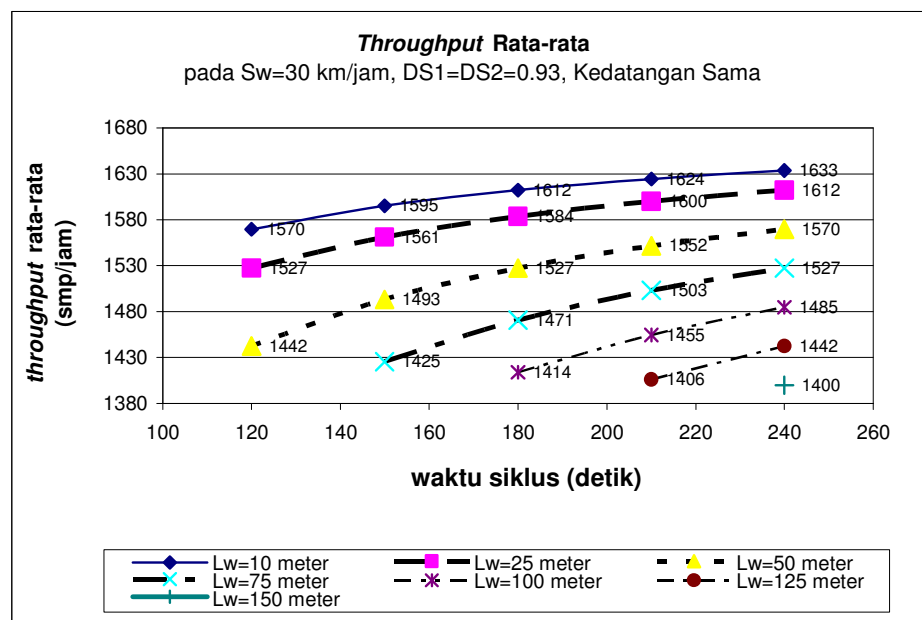


(c)

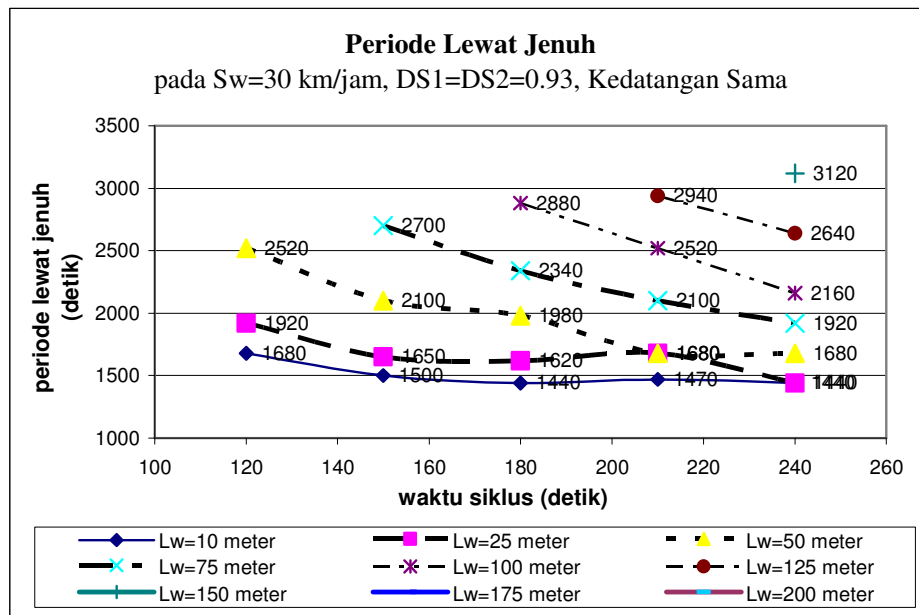
Gambar 4.7. Kinerja Kontrol Lalu Lintas Bersinyal di LPRJ pada Periode Pengamatan 240 detik, $DS=1,86$ dan $Sw=20$ km/jam Terhadap Waktu Siklus



(a)



(b)



(c)

Gambar 4.8. Kinerja Kontrol Lalu Lintas Bersinyal di LPRJ pada Periode Pengamatan 240 detik, $DS=1,86$ dan $Sw=30$ km/jam Terhadap Waktu Siklus

Persentase perbedaan kinerja antar waktu siklus pada $DS=1,86$, periode pengamatan 240 detik disajikan pada Tabel 4.12. Persentase perbedaan ini dibandingkan terhadap nilai tundaan total, *throughput* rata-rata dan lama periode lewat jenuh pada $c=120$ detik.

Bila dibandingkan dengan kinerja pada $c=120$ detik, nilai tundaan total pada $c=240$ detik menurunkan tundaan total 19%-40%, meningkatkan *throughput* rata-rata 3%-9% dan menurunkan lama periode lewat jenuh 10%-30%.

Perbedaan kinerja antara simulasi pada $Sw=20$ km/jam dan $Sw=30$ km/jam dengan $DS=1,86$, periode pengamatan 240 detik disajikan pada Tabel 4.13. Pada Tabel ini terlihat bahwa peningkatan kecepatan rata-rata pada LPRJ dari 20 km/jam menjadi 30 km/jam menimbulkan peningkatan kinerja yang cukup signifikan, yaitu tundaan total menurun 21%-36%, *throughput* rata-rata meningkat 1%-6% dan lama periode lewat jenuh menurun 1%-31%.

Hasil simulasi peningkatan kecepatan rata-rata pada LPRJ dari 20 km/jam menjadi 30 km/jam pada DS=1,86 ini juga menunjukkan bahwa semakin panjang LPRJ, semakin tinggi persentase peningkatan kinerjanya.

Tabel 4.12. Persentase Perbedaan Kinerja antar Waktu Siklus pada DS=1,86-
Periode Pengamatan 240 Detik

Panjang LPRJ	Waktu Siklus	tundaan total	throughput rata-rata	periode lewat jenuh	tundaan total	throughput rata-rata	periode lewat jenuh
meter	detik	detik	smp/jam	detik	detik	smp/jam	detik
		Sw=20 km/jam			Sw=30 km/jam		
10	120	108.291	1555,58	1680	102.748	1.570	1.680
	150	96.275	1583,87	1650	93.331	1.595	1.500
	180	89.098	1602,72	1620	87.671	1.612	1.440
	210	86.613	1616,19	1470	84.188	1.624	1.470
	240	85.548	1626,29	1440	83.512	1.633	1.440
	120	100%	100%	100%	100%	100%	100%
	150	89%	102%	98%	91%	102%	89%
	180	82%	103%	96%	85%	103%	86%
	210	80%	104%	88%	82%	103%	88%
25	120	141.801	1484,88	2160	119.462	1.527	1.920
	150	117.770	1527,30	1950	104.831	1.561	1.650
	180	105.398	1555,58	1800	95.971	1.584	1.620
	210	98.655	1575,79	1680	89.151	1.600	1.680
	240	94.433	1590,94	1680	89.621	1.612	1.440
	120	100%	100%	100%	100%	100%	100%
	150	83%	103%	90%	88%	102%	86%
	180	74%	105%	83%	80%	104%	84%
	210	70%	106%	78%	75%	105%	88%
50	120	-	-	-	171.599	1.442	2.520
	150	185.327	1425,48	2700	135.542	1.493	2.100
	180	148.077	1470,73	2340	116.715	1.527	1.980
	210	129.220	1503,06	2100	108.158	1.552	1.680
	240	119.462	1527,30	1920	102.748	1.570	1.680
	120	-	-	-	100%	100%	100%
	150	100%	100%	100%	79%	104%	83%
	180	80%	103%	87%	68%	106%	79%
	210	70%	105%	78%	63%	108%	67%
240	64%	107%	71%	60%	109%	67%	

Lanjutan Tabel 4.12

Panjang LPRJ	Waktu Siklus	tundaan total	throughput rata-rata	periode lewat jenuh	tundaan total	throughput rata-rata	periode lewat jenuh
meter	detik	detik	smp/jam	detik	detik	smp/jam	detik
		Sw=20 km/jam			Sw=30 km/jam		
75	120	-	-	-	-	-	-
	150	-	-	-	185.327	1.425	2.700
	180	230.552	1385,88	3240	148.077	1.471	2.340
	210	179.744	1430,33	2730	129.220	1.503	2.100
	240	154.830	1463,66	2400	119.462	1.527	1.920
	120	-	-	-	-	-	-
	150	-	-	-	100%	100%	100%
	180	100%	100%	100%	80%	103%	87%
	210	78%	103%	84%	70%	105%	78%
240	67%	106%	74%	64%	107%	71%	
100	120	-	-	-	-	-	-
	150	-	-	-	-	-	-
	180	-	-	-	195.810	1.414	2.880
	210	-	-	-	159.191	1.455	2.520
	240	213.406	1400,03	3120	141.801	1.485	2.160
	120	-	-	-	-	-	-
	150	-	-	-	-	-	-
	180	-	-	-	100%	100%	100%
	210	-	-	-	81%	103%	88%
240	100%	100%	100%	72%	105%	75%	
125	120	-	-	-	-	-	-
	150	-	-	-	-	-	-
	180	-	-	-	-	-	-
	210	-	-	-	205.197	1.406	2.940
	240	-	-	-	170.428	1.442	2.640
	120	-	-	-	-	-	-
	150	-	-	-	-	-	-
	180	-	-	-	-	-	-
	210	-	-	-	100%	100%	100%
240	-	-	-	83%	103%	90%	
150	120	-	-	-	-	-	-
	150	-	-	-	-	-	-
	180	-	-	-	-	-	-
	210	-	-	-	-	-	-
	240	-	-	-	213.406	1.400	3.120
	120	-	-	-	-	-	-
	150	-	-	-	-	-	-
	180	-	-	-	-	-	-
	210	-	-	-	-	-	-
240	-	-	-	100%	100%	100%	

Tabel 4.13. Persentase Perbedaan Kinerja Antara $Sw=20$ km/jam Dengan $Sw=30$ km/jam, $DS=1,86$ – Periode Pengamatan 240 Detik

Panjang LPRJ	Waktu Siklus	tundaan total	throughput rata-rata	periode lewat jenuh	tundaan total	throughput rata-rata	periode lewat jenuh	tundaan total	throughput rata-rata	periode lewat jenuh
meter	detik	detik	smp/jam	detik	detik	smp/jam	detik			
		Sw=20 km/jam			Sw=30 km/jam			perbedaan		
10	120	108.291	1555.58	1680	102.748	1.570	1.680	5%	1%	0%
	150	96.275	1583.87	1650	93.331	1.595	1.500	3%	1%	9%
	180	89.098	1602.72	1620	87.671	1.612	1.440	2%	1%	11%
	210	86.613	1616.19	1470	84.188	1.624	1.470	3%	1%	0%
	240	85.548	1626.29	1440	83.512	1.633	1.440	2%	0%	0%
25	120	141.801	1484.88	2160	119.462	1.527	1.920	16%	3%	11%
	150	117.770	1527.30	1950	104.831	1.561	1.650	11%	2%	15%
	180	105.398	1555.58	1800	95.971	1.584	1.620	9%	2%	10%
	210	98.655	1575.79	1680	89.151	1.600	1.680	10%	2%	0%
	240	94.433	1590.94	1680	89.621	1.612	1.440	5%	1%	14%
50	120	-	-	-	171.599	1.442	2.520	-	-	-
	150	185.327	1425.48	2700	135.542	1.493	2.100	27%	5%	22%
	180	148.077	1470.73	2340	116.715	1.527	1.980	21%	4%	15%
	210	129.220	1503.06	2100	108.158	1.552	1.680	16%	3%	20%
	240	119.462	1527.30	1920	102.748	1.570	1.680	14%	3%	13%
75	120	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	150	-	-	-	185.327	1.425	2.700	-	-	-
	180	230.552	1385.88	3240	148.077	1.471	2.340	36%	6%	28%
	210	179.744	1430.33	2730	129.220	1.503	2.100	28%	5%	23%
	240	154.830	1463.66	2400	119.462	1.527	1.920	23%	4%	20%
100	120	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	150	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	180	-	-	-	195.810	1.414	2.880	-	-	-
	210	-	-	-	159.191	1.455	2.520	-	-	-
	240	213.406	1400.03	3120	141.801	1.485	2.160	34%	6%	31%

4.2.3. Simulasi dengan Derajat Kejenuhan Total (DS) 2,26

Ringkasan hasil simulasi pada $DS=2,26$ dan *split* arus lalu lintas untuk kedua pendekat 50:50 untuk kondisi kecepatan rata-rata pada LPRJ (Sw) 20 km/jam dan 30 km/jam disajikan pada Tabel 4.14 dan Tabel 4.15. Seperti pada analisis untuk $DS=1,44$, untuk setiap panjang LPRJ (Lw), hasil tundaan total *throughput* rata-rata dan lama periode lewat jenuh dibandingkan dalam persentase terhadap nilai pada periode pengamatan 120 detik dan waktu siklus 120 detik. Tabel 4.10 dan Tabel 4.11 menunjukkan bahwa pada periode pengamatan 120 detik sampai 300 detik, nilai tundaan total menurun sejalan dengan meningkatnya

periode pengamatan dengan nilai tundaan total yang antara periode pengamatan 240 detik dan 300 detik. Kondisi ini menunjukkan bahwa pada seluruh Lw, untuk seluruh *input* waktu siklus (c), nilai tundaan total terkecil terjadi pada periode pengamatan 240 detik dan 300 detik.

Simulasi pada DS=2,26 menunjukkan bahwa pada kedua kecepatan yang disimulasikan, nilai *throughput* rata-rata dan lama periode lewat jenuh sama untuk seluruh periode pengamatan arus kedatangan kendaraan (120 detik, 180 detik, 240 detik dan 300 detik). Hasil simulasi dengan DS=2,26 menunjukkan bahwa panjang LPRJ (Lw) maksimum yang dapat dilayani pada Sw=20 km/jam adalah 75 meter, sedangkan pada Sw=30 km/jam adalah 125 meter.

Tabel 4.14. Perbandingan Kinerja Pada DS=2,26, Sw=20 km/jam

Panjang LPRJ	Waktu Siklus	total tundaan (detik)				<i>throughput</i> rata-rata (smp/jam)				periode lewat jenuh
		Periode Pengamatan (detik)				Periode Pengamatan (detik)				
		120	180	240	300	120	180	240	300	
meter	(detik)									detik
10	120	210.549	208.789	207.909	210.549	1555,58	1555,58	1555,58	1555,58	2280
	150	195.382	189.482	188.107	193.882	1583,87	1583,87	1583,87	1583,87	2100
	180	192.198	180.678	176.718	180.678	1602,72	1602,72	1602,72	1602,72	1980
	210	190.283	175.303	167.813	170.123	1616,19	1616,19	1616,19	1616,19	2100
	240	197.899	179.019	167.179	167.179	1626,29	1626,29	1626,29	1626,29	1920
	120	100,00%	99,16%	98,75%	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%
	150	92,80%	89,99%	89,34%	92,08%	101,82%	101,82%	101,82%	101,82%	92,11%
	180	91,28%	85,81%	83,93%	85,81%	103,03%	103,03%	103,03%	103,03%	86,84%
	210	90,37%	83,26%	79,70%	80,80%	103,90%	103,90%	103,90%	103,90%	92,11%
	240	93,99%	85,02%	79,40%	79,40%	104,55%	104,55%	104,55%	104,55%	84,21%
25	120	271.104	269.344	268.464	271.104	1484,88	1484,88	1484,88	1484,88	2880
	150	233.907	228.007	226.632	232.407	1527,30	1527,30	1527,30	1527,30	2550
	180	220.259	208.739	204.779	208.739	1555,58	1555,58	1555,58	1555,58	2340
	210	212.896	197.916	190.426	192.736	1575,79	1575,79	1575,79	1575,79	2310
	240	215.633	196.753	184.913	184.913	1590,94	1590,94	1590,94	1590,94	2160
	120	100,00%	99,35%	99,03%	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%
	150	86,28%	84,10%	83,60%	85,73%	102,86%	102,86%	102,86%	102,86%	88,54%
	180	81,25%	77,00%	75,54%	77,00%	104,76%	104,76%	104,76%	104,76%	81,25%
	210	78,53%	73,00%	70,24%	71,09%	106,12%	106,12%	106,12%	106,12%	80,21%
	240	79,54%	72,57%	68,21%	68,21%	107,14%	107,14%	107,14%	107,14%	75,00%
50	120	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	150	354.636	348.736	347.361	353.136	1425,48	1425,48	1425,48	1425,48	3600
	180	296.991	285.471	281.511	285.471	1470,73	1470,73	1470,73	1470,73	3060
	210	270.098	255.118	247.628	249.938	1503,06	1503,06	1503,06	1503,06	2730
	240	257.734	238.854	227.014	227.014	1527,30	1527,30	1527,30	1527,30	2640
	120	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	150	100,00%	98,34%	97,95%	99,58%	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%
	180	83,75%	80,50%	79,38%	80,50%	103,17%	103,17%	103,17%	103,17%	85,00%
	210	76,16%	71,94%	69,83%	70,48%	105,44%	105,44%	105,44%	105,44%	75,83%
	240	72,68%	67,35%	64,01%	64,01%	107,14%	107,14%	107,14%	107,14%	73,33%
75	120	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	150	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	180	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	210	360.890	345.910	338.420	340.730	1430,33	1430,33	1430,33	1430,33	3570
	240	323.688	304.808	292.968	292.968	1463,66	1463,66	1463,66	1463,66	3120
	120	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	150	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	180	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	210	100,00%	95,85%	93,77%	94,41%	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%
	240	89,69%	84,46%	81,18%	81,18%	102,33%	102,33%	102,33%	102,33%	87,39%

Keterangan : dibandingkan terhadap nilai kinerja pada periode pengamatan dan waktu siklus terkecil dari setiap panjang LPRJ

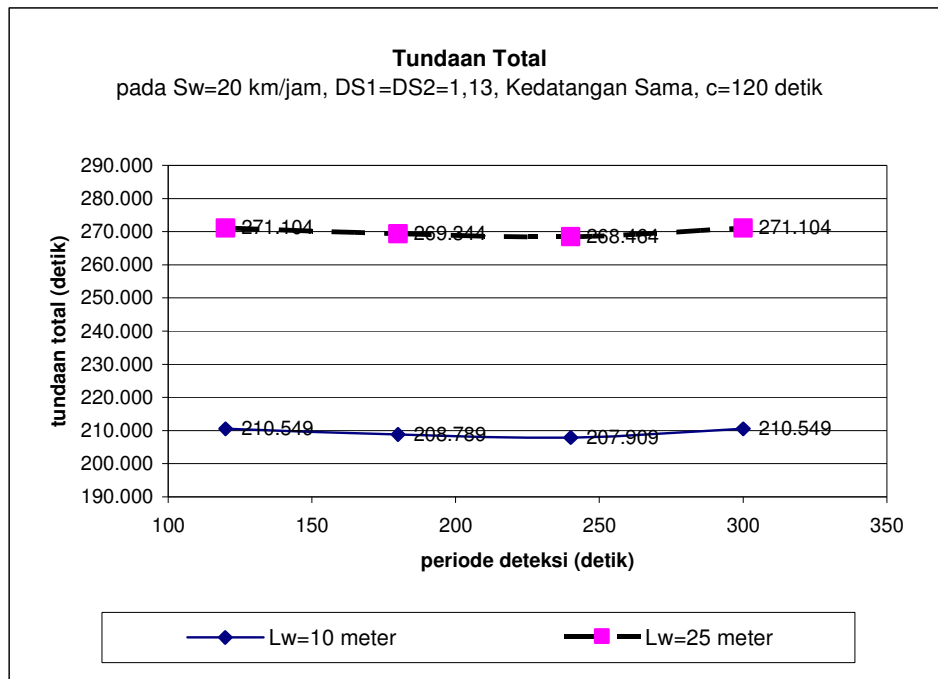
Tabel 4.15. Perbandingan Kinerja Pada DS=2,26, Sw=30 km/jam

Panjang LPRJ	Waktu Siklus	total tundaan (detik)				throughput rata-rata (smp/jam)				periode lewat jenuh
		Periode Pengamatan (detik)				Periode Pengamatan (detik)				
		120	180	240	300	120	180	240	300	
meter	(detik)									detik
10	120	201.298	199.538	198.658	201.298	1569,73	1569,73	1569,73	1569,73	2160
	150	188.452	182.552	181.177	186.952	1595,18	1595,18	1595,18	1595,18	2100
	180	187.064	175.544	171.584	175.544	1612,15	1612,15	1612,15	1612,15	1980
	210	188.508	173.528	166.038	168.348	1624,27	1624,27	1624,27	1624,27	1890
	240	194.278	175.398	163.558	163.558	1633,36	1633,36	1633,36	1633,36	1920
	120	100,00%	99,13%	98,69%	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%
	150	93,62%	90,69%	90,00%	92,87%	101,62%	101,62%	101,62%	101,62%	97,22%
	180	92,93%	87,21%	85,24%	87,21%	102,70%	102,70%	102,70%	102,70%	91,67%
25	210	93,65%	86,20%	82,48%	83,63%	103,47%	103,47%	103,47%	103,47%	87,50%
	240	96,51%	87,13%	81,25%	81,25%	104,05%	104,05%	104,05%	104,05%	88,89%
	120	231.401	229.641	228.761	231.401	1527,30	1527,30	1527,30	1527,30	2520
	150	209.503	203.603	202.228	208.003	1561,24	1561,24	1561,24	1561,24	2250
	180	202.334	190.814	186.854	190.814	1583,87	1583,87	1583,87	1583,87	2160
	210	200.183	185.203	177.713	180.023	1600,03	1600,03	1600,03	1600,03	2100
	240	201.887	183.007	171.167	171.167	1612,15	1612,15	1612,15	1612,15	2160
	120	100,00%	99,24%	98,86%	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%
50	150	90,54%	87,99%	87,39%	89,89%	102,22%	102,22%	102,22%	102,22%	89,29%
	180	87,44%	82,46%	80,75%	82,46%	103,70%	103,70%	103,70%	103,70%	85,71%
	210	86,51%	80,04%	76,80%	77,80%	104,76%	104,76%	104,76%	104,76%	83,33%
	240	87,25%	79,09%	73,97%	73,97%	105,56%	105,56%	105,56%	105,56%	85,71%
	120	324.718	322.958	322.078	324.718	1442,45	1442,45	1442,45	1442,45	3360
	150	265.473	259.573	258.198	263.973	1493,36	1493,36	1493,36	1493,36	2700
	180	241.601	230.081	226.121	230.081	1527,30	1527,30	1527,30	1527,30	2520
	210	230.863	215.883	208.393	210.703	1551,54	1551,54	1551,54	1551,54	2310
75	240	229.378	210.498	198.658	198.658	1569,73	1569,73	1569,73	1569,73	2160
	120	100,00%	99,46%	99,19%	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%
	150	81,75%	79,94%	79,51%	81,29%	103,53%	103,53%	103,53%	103,53%	80,36%
	180	74,40%	70,86%	69,64%	70,86%	105,88%	105,88%	105,88%	105,88%	75,00%
	210	71,10%	66,48%	64,18%	64,89%	107,56%	107,56%	107,56%	107,56%	68,75%
	240	70,64%	64,82%	61,18%	61,18%	108,82%	108,82%	108,82%	108,82%	64,29%
	120	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	150	354.636	348.736	347.361	353.136	1425,48	1425,48	1425,48	1425,48	3600
100	180	296.991	285.471	281.511	285.471	1470,73	1470,73	1470,73	1470,73	3060
	210	270.098	255.118	247.628	249.938	1503,06	1503,06	1503,06	1503,06	2730
	240	257.734	238.854	227.014	227.014	1527,30	1527,30	1527,30	1527,30	2640
	120	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	150	100,00%	98,34%	97,95%	99,58%	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%
	180	83,75%	80,50%	79,38%	80,50%	103,17%	103,17%	103,17%	103,17%	85,00%
	210	76,16%	71,94%	69,83%	70,48%	105,44%	105,44%	105,44%	105,44%	75,83%
	240	72,68%	67,35%	64,01%	64,01%	107,14%	107,14%	107,14%	107,14%	73,33%
125	120	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	150	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	180	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	210	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	240	352.798	333.918	322.078	322.078	1442,45	1442,45	1442,45	1442,45	3360
	120	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	150	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	180	-	-	-	-	-	-	-	-	-
210	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
240	100,00%	94,65%	91,29%	91,29%	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	

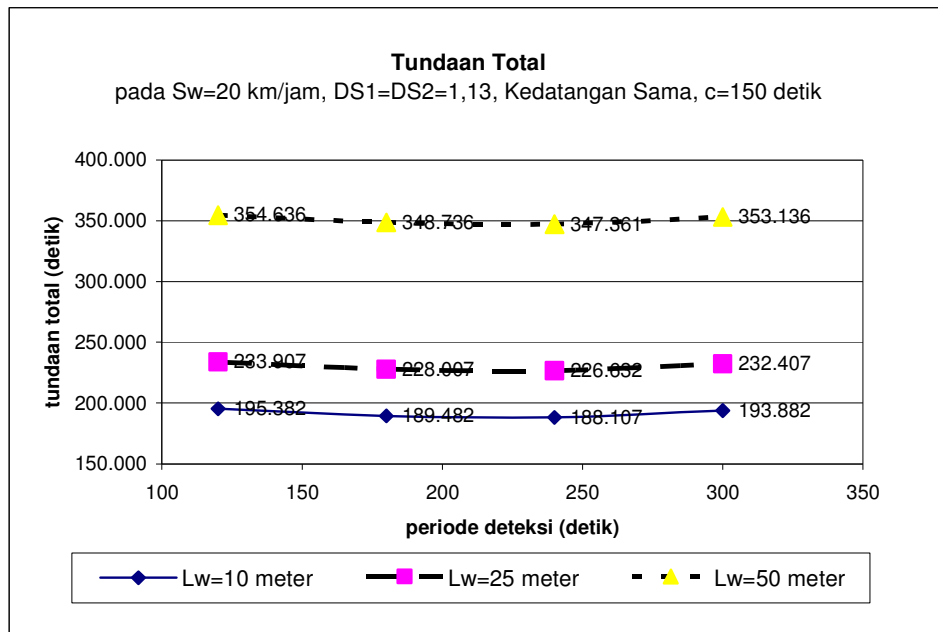
Keterangan : dibandingkan terhadap nilai kinerja pada periode pengamatan dan waktu siklus terkecil dari setiap panjang LPRJ

Periode Pengamatan Optimal

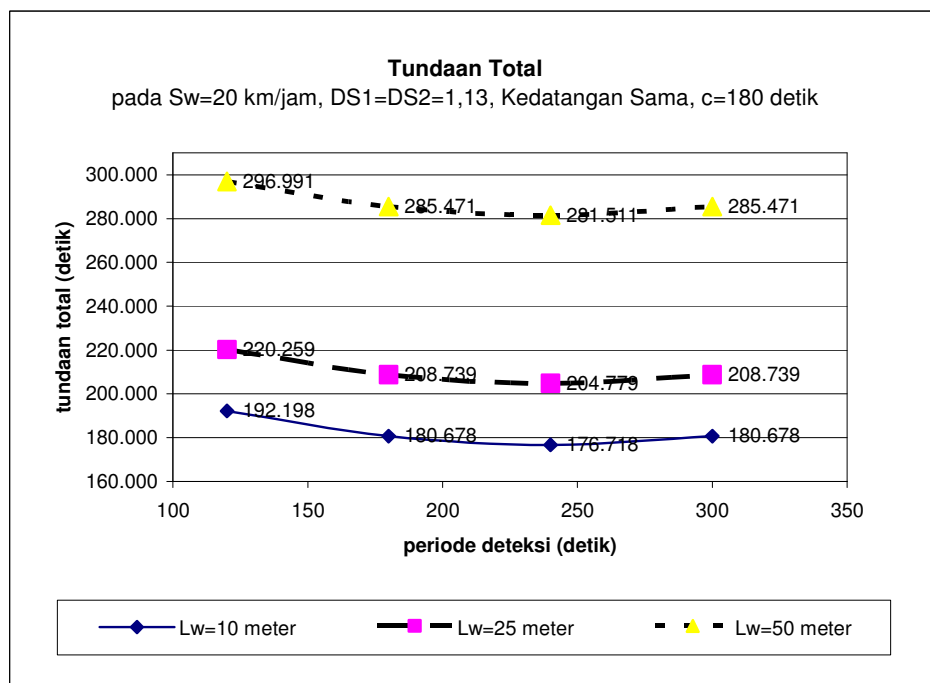
Hasil simulasi pada $DS=2,26$, *split* arus lalu lintas untuk kedua pendekat 50:50 dan $Sw=20$ km/jam dan $Sw=30$ km/jam disajikan pada Gambar 4.9a sampai Gambar 4.9e dan Gambar 4.10a sampai Gambar 4.10e, dimana keduanya menunjukkan bahwa pada seluruh *input* waktu siklus (120 detik, 150 detik, 180 detik, 210 detik, 240 detik), tundaan total terkecil terjadi pada periode pengamatan 240 detik.



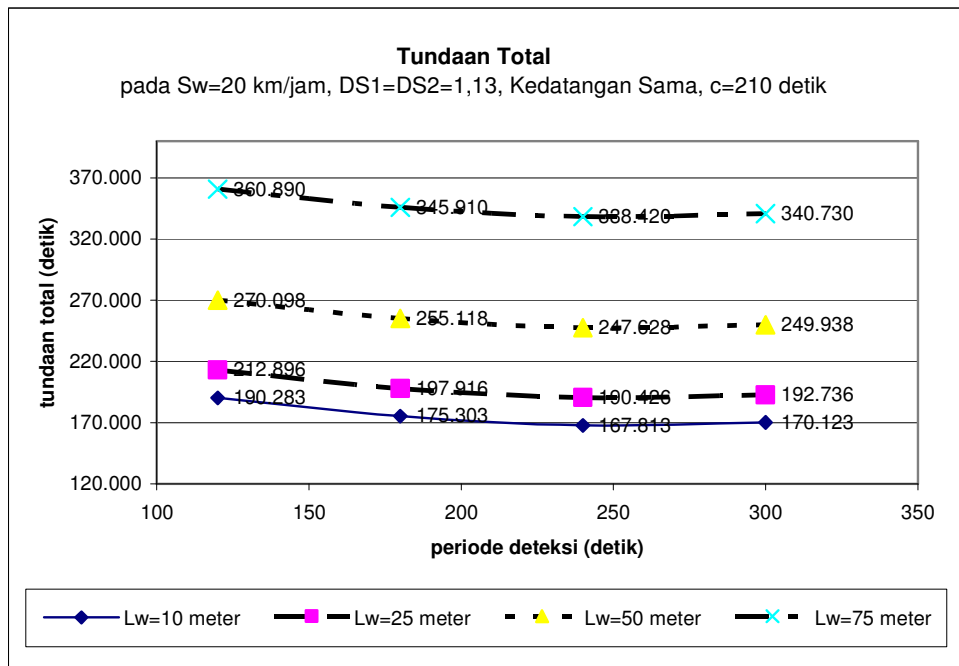
(a)



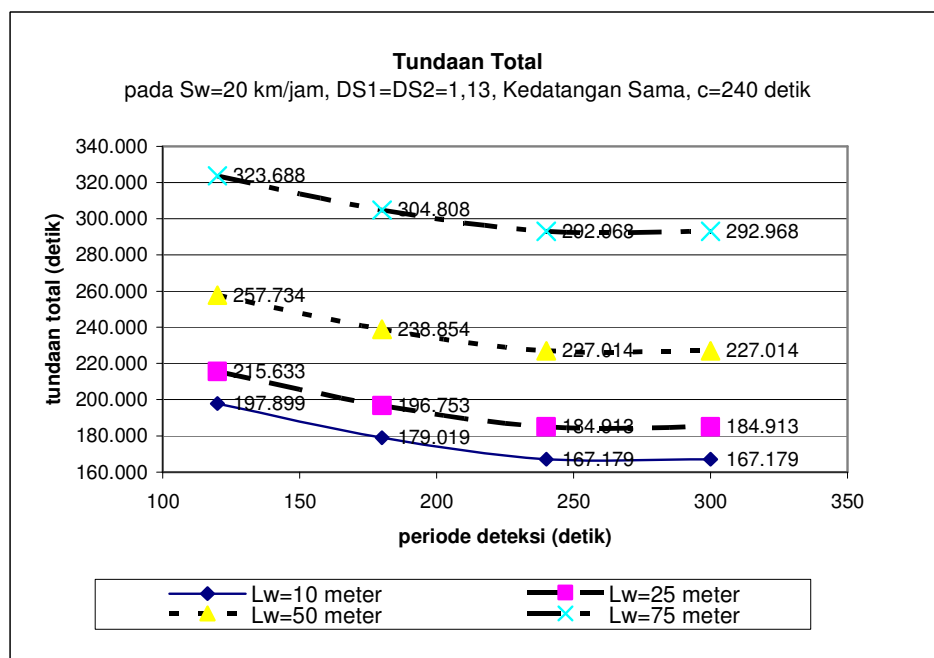
(b)



(c)

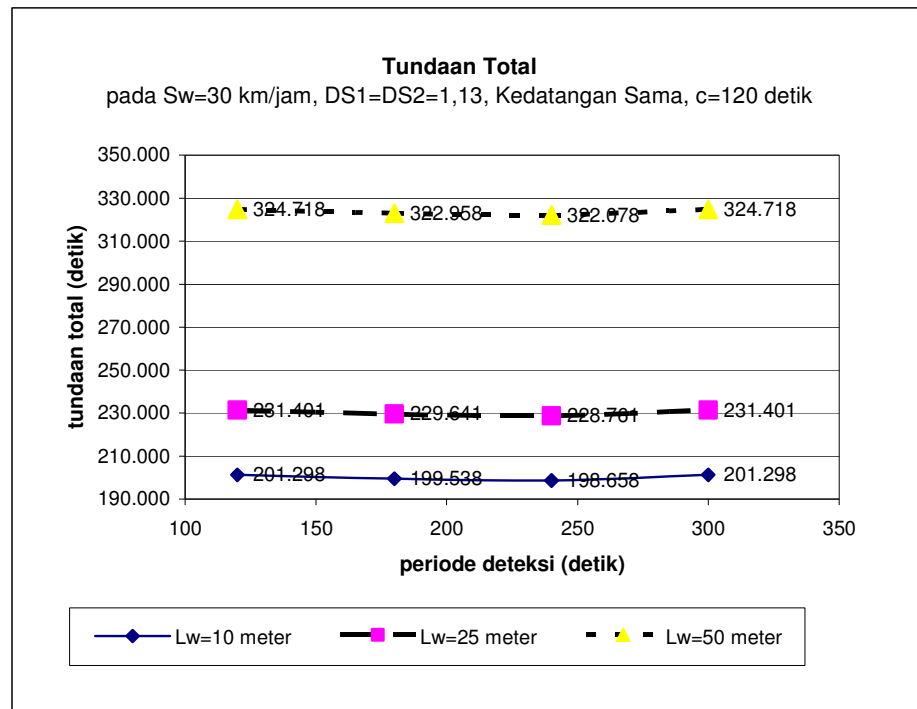


(d)

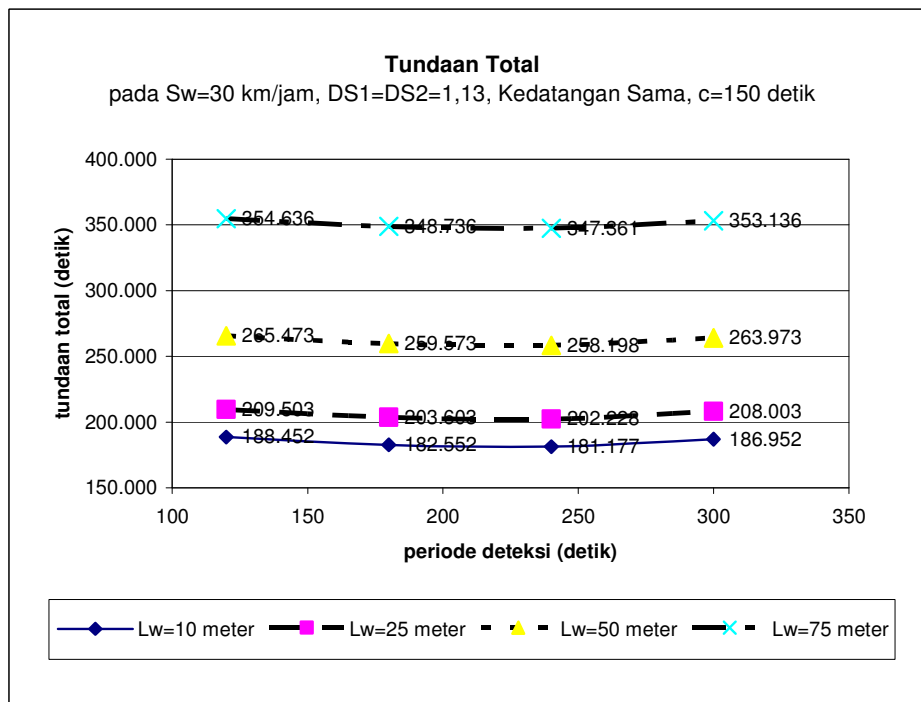


(e)

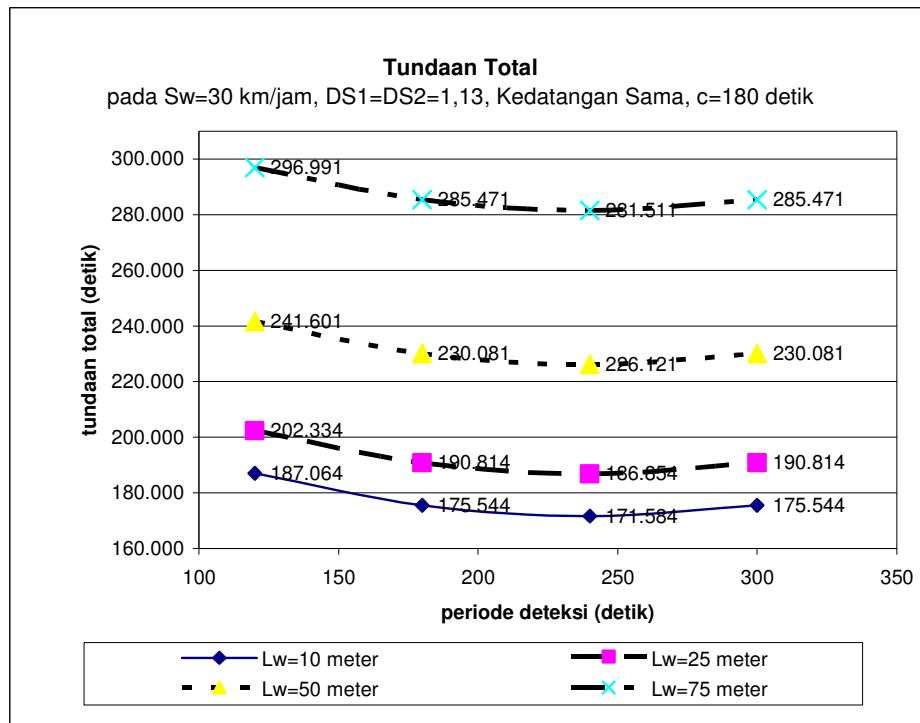
Gambar 4.9. Kinerja Kontrol Lalu Lintas Bersinyal di LPRJ pada DS = 2,26 dan Sw=20 km/jam Terhadap Variasi Periode Pengamatan dan Waktu Siklus



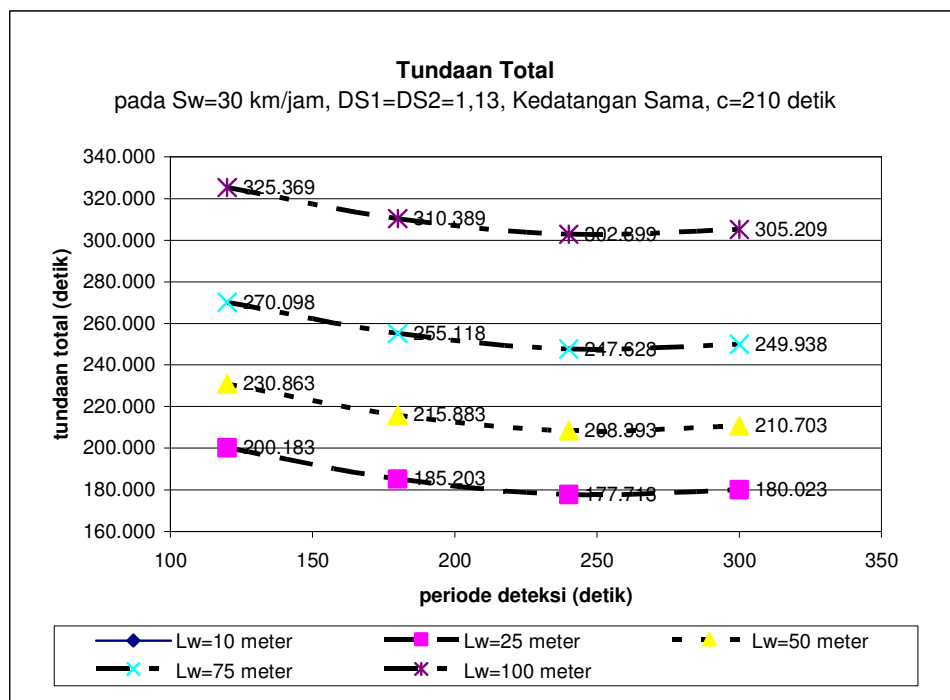
(a)



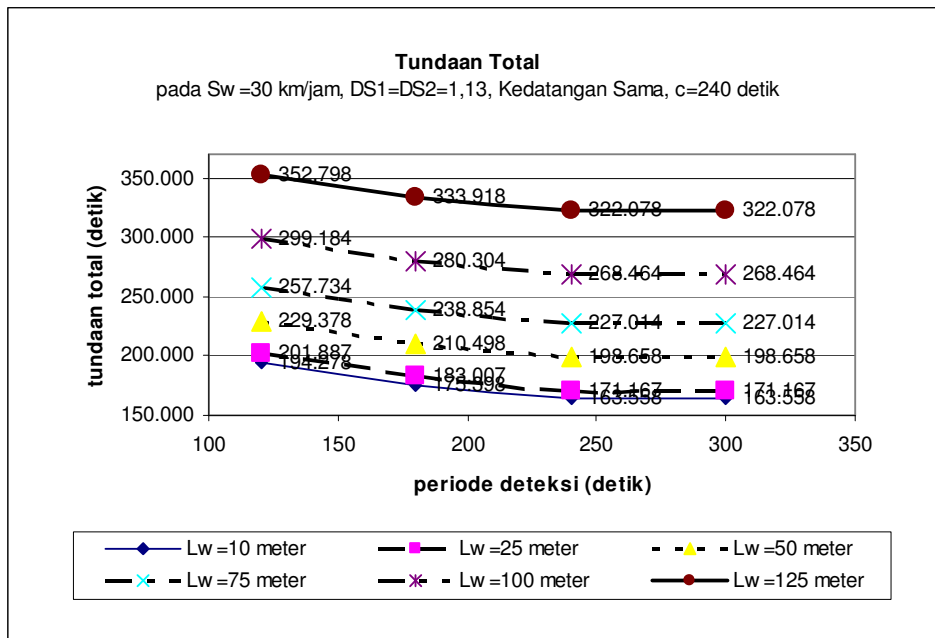
(b)



(c)



(d)

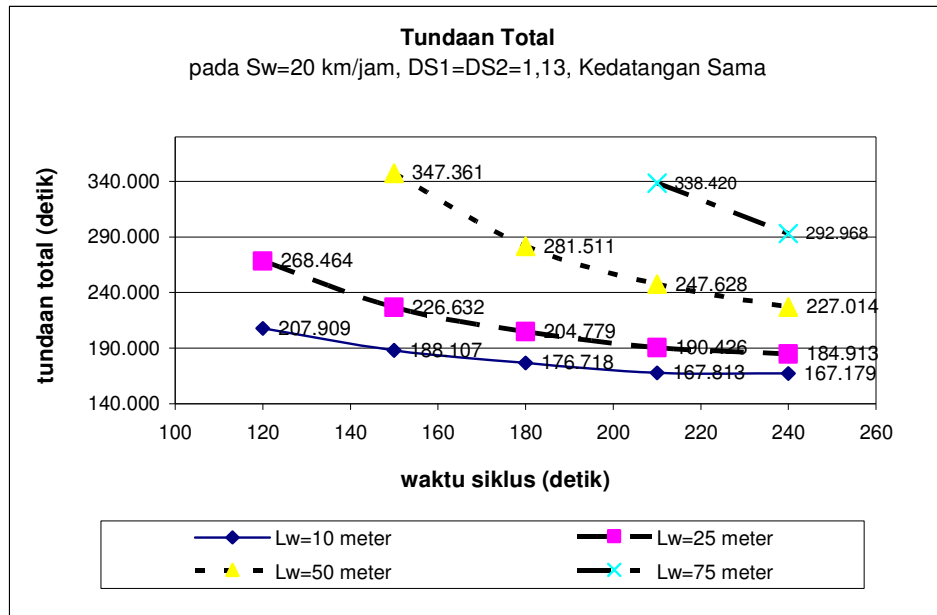


(e)

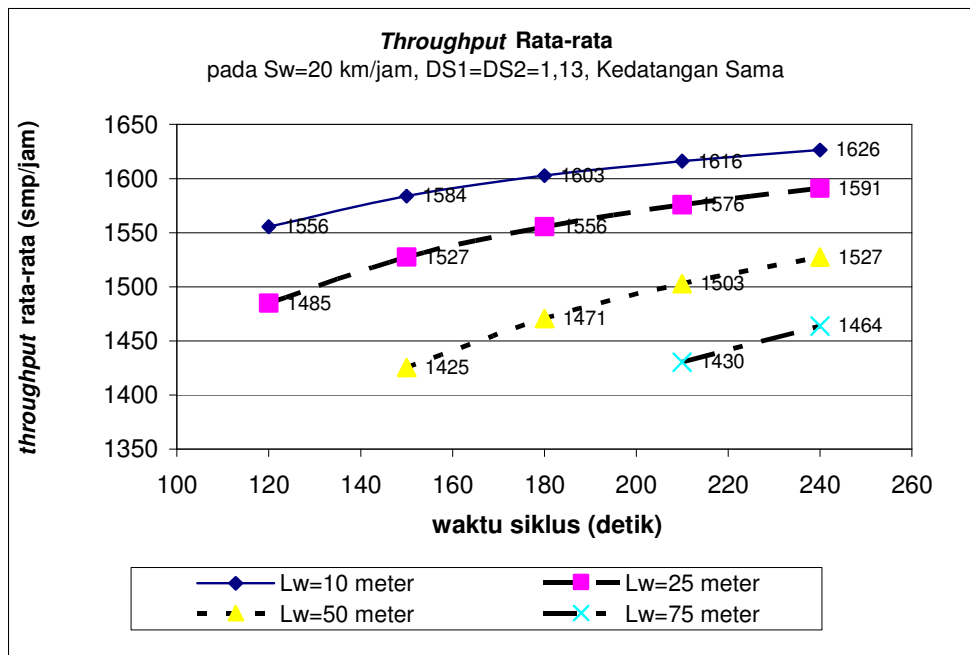
Gambar 4.10. Kinerja Kontrol Lalu Lintas Bersinyal di LPRJ pada DS = 2,26 dan Sw=30 km/jam Terhadap Variasi Periode Pengamatan dan Waktu Siklus

Waktu Siklus Optimal

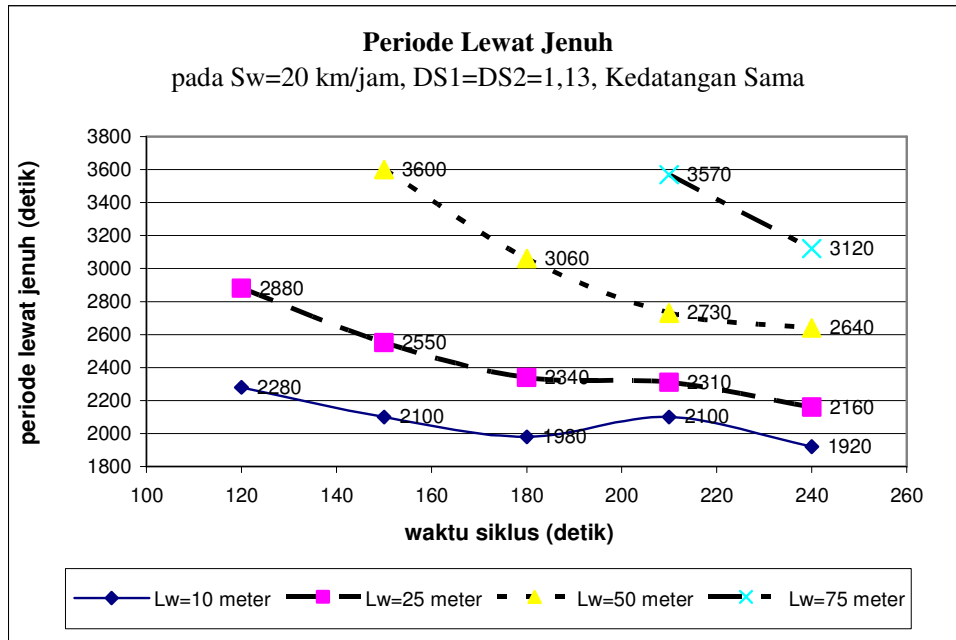
Kinerja hasil simulasi pada DS=2,26 dengan variasi waktu siklus 120 detik, 150 detik, 180 detik, 210 detik dan 240 detik, periode pengamatan arus kedatangan 240 detik pada Sw=20 km/jam dan Sw=30 km/jam, berupa tundaan total, *throughput* rata-rata dan lama periode lewat jenuh, disajikan pada Gambar 4.11 dan Gambar 4.12. Hasil simulasi pada DS=2,26 menunjukkan bahwa semakin tinggi waktu siklus menghasilkan semakin kecil tundaan total, semakin besar *throughput* rata-rata dan semakin menurunnya lama periode lewat jenuh dengan kinerja terbaik terjadi pada c=240 detik.



(a)

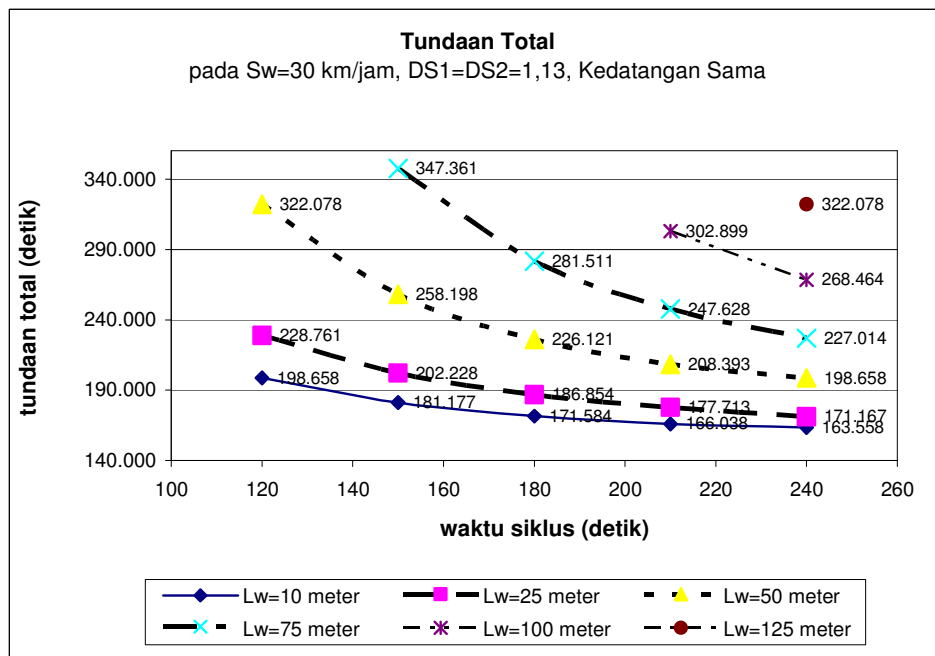


(b)

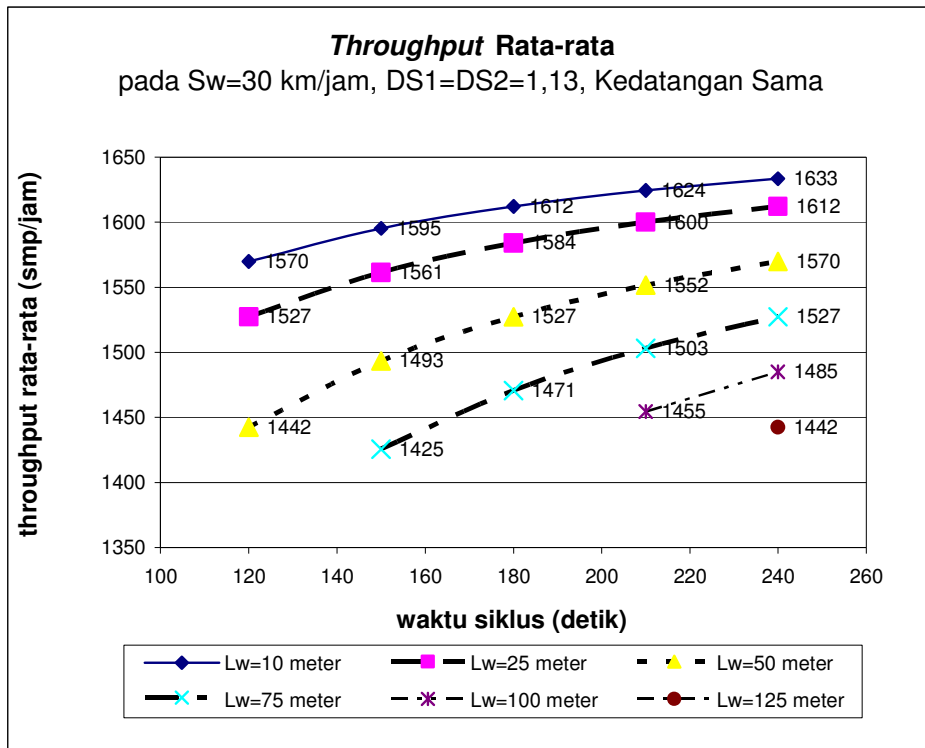


(c)

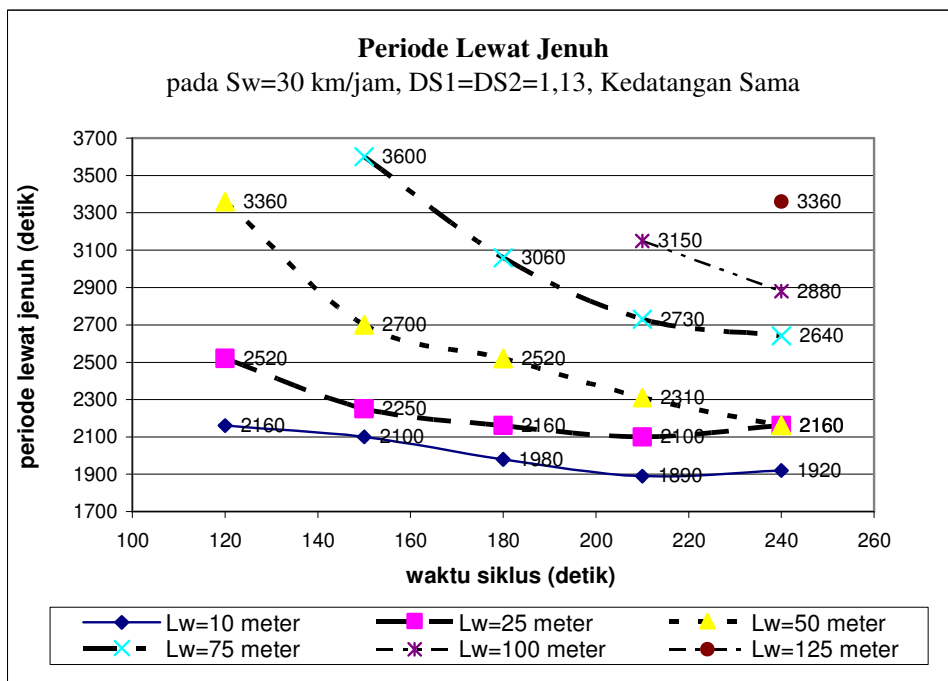
Gambar 4.11. Kinerja Kontrol Lalu Lintas Bersinyal di LPRJ pada Periode Pengamatan 240 detik, DS=2,26 dan Sw=20 km/jam Terhadap Waktu Siklus



a)



(b)



(c)

Gambar 4.12. Kinerja Kontrol Lalu Lintas Bersinyal di LPRJ pada Periode Pengamatan 240 detik, DS=2,26 dan Sw=30 km/jam Terhadap Waktu Siklus

Pada Tabel 4.16 disajikan persentase perbedaan kinerja antar waktu siklus pada DS=2,26, periode pengamatan 240 detik. Bila dibandingkan dengan kinerja pada c=120 detik, nilai tundaan total pada c=240 detik menurunkan tundaan total 18%-38%, meningkatkan *throughput* rata-rata 4%-9% dan menurunkan lama periode lewat jenuh 14%-36%.

Persentase perbedaan kinerja antara simulasi pada Sw=20 km/jam dan Sw=30 km/jam dengan DS=2,26 dan periode pengamatan 240 detik disajikan pada Tabel 4.17. Tabel 4.17 menunjukkan peningkatan kecepatan rata-rata pada LPRJ dari 20 km/jam menjadi 30 km/jam, menimbulkan penurunan tundaan total 2%-23%, peningkatan *throughput* rata-rata 1%-4% dan penurunan lama periode lewat jenuh 1%-15%. Hasil simulasi peningkatan kecepatan rata-rata pada LPRJ dari 20 km/jam menjadi 30 km/jam pada DS=2,26 ini juga menunjukkan bahwa semakin panjang LPRJ, semakin tinggi persentase peningkatan kinerjanya.

Tabel 4.16. Persentase Perbedaan Kinerja antar Waktu Siklus pada DS=2,26 – Periode Pengamatan 240 Detik

Panjang LPRJ	Waktu Siklus	tundaan total	<i>throughput</i> rata-rata	periode lewat jenuh	tundaan total	<i>throughput</i> rata-rata	periode lewat jenuh
meter	detik	detik	smp/jam	detik	detik	smp/jam	detik
		Sw=20 km/jam			Sw=30 km/jam		
10	120	207.909	1555,58	2280	198.658	1.570	2.160
	150	188.107	1583,87	2100	181.177	1.595	2.100
	180	176.718	1602,72	1980	171.584	1.612	1.980
	210	167.813	1616,19	2100	166.038	1.624	1.890
	240	167.179	1626,29	1920	163.558	1.633	1.920
	120	100%	100%	100%	100%	100%	100%
	150	90%	102%	92%	91%	102%	97%
	180	85%	103%	87%	86%	103%	92%
	210	81%	104%	92%	84%	103%	88%
240	80%	105%	84%	82%	104%	89%	
25	120	268.464	1484,88	2880	228.761	1.527	2.520
	150	226.632	1527,30	2550	202.228	1.561	2.250
	180	204.779	1555,58	2340	186.854	1.584	2.160
	210	190.426	1575,79	2310	177.713	1.600	2.100
	240	184.913	1590,94	2160	171.167	1.612	2.160
	120	100%	100%	100%	100%	100%	100%
	150	84%	103%	89%	88%	102%	89%
	180	76%	105%	81%	82%	104%	86%
	210	71%	106%	80%	78%	105%	83%
240	69%	107%	75%	75%	106%	86%	

Lanjutan Tabel 4.16

Panjang LPRJ	Waktu Siklus	tundaan total	throughput rata-rata	periode lewat jenuh	tundaan total	throughput rata-rata	periode lewat jenuh
meter	detik	detik	smp/jam	detik	detik	smp/jam	detik
		Sw=20 km/jam			Sw=30 km/jam		
50	120	-	-	-	322.078	1.442	3.360
	150	347.361	1425,48	3600	258.198	1.493	2.700
	180	281.511	1470,73	3060	226.121	1.527	2.520
	210	247.628	1503,06	2730	208.393	1.552	2.310
	240	227.014	1527,30	2640	198.658	1.570	2.160
	120	-	-	-	100%	100%	100%
	150	100%	100%	100%	80%	104%	80%
	180	81%	103%	85%	70%	106%	75%
	210	71%	105%	76%	65%	108%	69%
240	65%	107%	73%	62%	109%	64%	
75	120	-	-	-	-	-	-
	150	-	-	-	347.361	1.425	3.600
	180	-	-	-	281.511	1.471	3.060
	210	338.420	1430,33	3570	247.628	1.503	2.730
	240	292.968	1463,66	3120	227.014	1.527	2.640
	120	-	-	-	-	-	-
	150	-	-	-	100%	100%	100%
	180	-	-	-	81%	103%	85%
	210	100%	100%	100%	71%	105%	76%
240	87%	102%	87%	65%	107%	73%	
100	120	-	-	-	-	-	-
	150	-	-	-	-	-	-
	180	-	-	-	-	-	-
	210	-	-	-	302.899	1.455	3.150
	240	-	-	-	268.464	1.485	2.880
	120	-	-	-	-	-	-
	150	-	-	-	-	-	-
	180	-	-	-	-	-	-
	210	-	-	-	100%	100%	100%
240	-	-	-	89%	102%	91%	
125	120	-	-	-	-	-	-
	150	-	-	-	-	-	-
	180	-	-	-	-	-	-
	210	-	-	-	-	-	-
	240	-	-	-	322.078	1.442	3.360
	120	-	-	-	-	-	-
	150	-	-	-	-	-	-
	180	-	-	-	-	-	-
	210	-	-	-	-	-	-
240	-	-	-	100%	100%	100%	

Tabel 4.17. Persentase Perbedaan Kinerja antara $Sw=20$ km/jam dengan $Sw=30$ km/jam, $DS=2,26$ – Periode Pengamatan 240 Detik

Panjang LPRJ	Waktu Siklus	tundaan total	throughput rata-rata	periode lewat jenuh	Tundaan total	throughput rata-rata	periode lewat jenuh	tundaan total	throughput rata-rata	periode lewat jenuh
meter	detik	detik	smp/jam	detik	Detik	smp/jam	detik			
		Sw=20 km/jam			Sw=30 km/jam			perbedaan		
10	120	207.909	1555,58	2280	198.658	1.570	2.160	4%	1%	5%
	150	188.107	1583,87	2100	181.177	1.595	2.100	4%	1%	0%
	180	176.718	1602,72	1980	171.584	1.612	1.980	3%	1%	0%
	210	167.813	1616,19	2100	166.038	1.624	1.890	1%	0%	10%
	240	167.179	1626,29	1920	163.558	1.633	1.920	2%	0%	0%
25	120	268.464	1484,88	2880	228.761	1.527	2.520	15%	3%	13%
	150	226.632	1527,30	2550	202.228	1.561	2.250	11%	2%	12%
	180	204.779	1555,58	2340	186.854	1.584	2.160	9%	2%	8%
	210	190.426	1575,79	2310	177.713	1.600	2.100	7%	2%	9%
	240	184.913	1590,94	2160	171.167	1.612	2.160	7%	1%	0%
50	120	-	-	-	322.078	1.442	3.360	-	-	-
	150	347.361	1425,48	3600	258.198	1.493	2.700	26%	5%	25%
	180	281.511	1470,73	3060	226.121	1.527	2.520	20%	4%	18%
	210	247.628	1503,06	2730	208.393	1.552	2.310	16%	3%	15%
	240	227.014	1527,30	2640	198.658	1.570	2.160	12%	3%	18%
75	120	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	150	-	-	-	347.361	1.425	3.600	-	-	-
	180	-	-	-	281.511	1.471	3.060	-	-	-
	210	338.420	1430,33	3570	247.628	1.503	2.730	27%	5%	24%
	240	292.968	1463,66	3120	227.014	1.527	2.640	23%	4%	15%

4.2.4. Simulasi dengan Derajat Kejenuhan Total (DS) 2,76

Ringkasan hasil simulasi pada $DS=2,76$ dan *split* arus lalu lintas untuk kedua pendekat 50:50 untuk kondisi kecepatan rata-rata pada LPRJ (Sw) 20 km/jam dan 30 km/jam disajikan pada Tabel 4.18 dan Tabel 4.19. Seperti pada analisis untuk DS sebelumnya, untuk setiap panjang LPRJ (Lw), hasil tundaan total *throughput* rata-rata dan lama periode lewat jenuh dibandingkan dalam persentase terhadap nilai pada periode pengamatan 120 detik dan waktu siklus 120 detik. Hasil simulasi pada $DS=2,76$ dan $DS=2,26$ memiliki hasil yang serupa, dimana pada periode pengamatan 120 detik sampai 300 detik, nilai tundaan total menurun sejalan dengan meningkatnya periode pengamatan dengan nilai tundaan total yang antara periode pengamatan 240 detik dan 300 detik, sehingga nilai tundaan total terkecil terjadi pada periode pengamatan 240 detik dan 300 detik.

Hasil simulasi pada $DS=2,76$ juga menunjukkan bahwa pada kedua Sw yang disimulasikan, nilai *throughput* rata-rata dan lama periode lewat jenuh sama untuk seluruh periode pengamatan arus kedatangan kendaraan (120 detik, 180 detik, 240 detik dan 300 detik). Hasil simulasi dengan $DS=2,76$ menunjukkan bahwa panjang LPRJ (L_w) maksimum yang dapat dilayani pada $Sw=20$ km/jam adalah 50 meter, sedangkan pada $Sw=30$ km/jam adalah 75 meter.

Tabel 4.18. Perbandingan Kinerja pada $DS=2,76$ $Sw=20$ km/jam

Panjang LPRJ	Waktu Siklus	total tundaan (detik)				<i>throughput</i> rata-rata (smp/jam)				periode lewat jenuh
		Periode Pengamatan (detik)				Periode Pengamatan (detik)				
		120	180	240	300	120	180	240	300	
meter	(detik)									detik
10	120	380.281	377.961	376.801	379.121	1555,58	1555,58	1555,58	1555,58	3000
	150	351.450	344.150	342.338	349.950	1583,87	1583,87	1583,87	1583,87	2850
	180	342.304	328.264	323.044	328.264	1602,72	1602,72	1602,72	1602,72	2700
	210	339.570	321.160	311.955	315.000	1616,19	1616,19	1616,19	1616,19	2520
	240	341.670	318.310	304.230	304.230	1626,29	1626,29	1626,29	1626,29	2640
	120	100,00%	99,39%	99,08%	99,69%	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%
	150	92,42%	90,50%	90,02%	92,02%	101,82%	101,82%	101,82%	101,82%	95,00%
	180	90,01%	86,32%	84,95%	86,32%	103,03%	103,03%	103,03%	103,03%	90,00%
	210	89,29%	84,45%	82,03%	82,83%	103,90%	103,90%	103,90%	103,90%	84,00%
	240	89,85%	83,70%	80,00%	80,00%	104,55%	104,55%	104,55%	104,55%	88,00%
25	120	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	150	419.959	412.659	410.846	418.459	1527,30	1527,30	1527,30	1527,30	3300
	180	392.024	377.984	372.764	377.984	1555,58	1555,58	1555,58	1555,58	3060
	210	377.319	358.909	349.704	352.749	1575,79	1575,79	1575,79	1575,79	2940
	240	373.560	350.200	336.120	336.120	1590,94	1590,94	1590,94	1590,94	2880
	120	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	150	100,00%	98,26%	97,83%	99,64%	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%
	180	93,35%	90,01%	88,76%	90,01%	101,85%	101,85%	101,85%	101,85%	92,73%
	210	89,85%	85,46%	83,27%	84,00%	103,17%	103,17%	103,17%	103,17%	89,09%
	240	88,95%	83,39%	80,04%	80,04%	104,17%	104,17%	104,17%	104,17%	87,27%
50	120	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	150	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	180	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	210	474.701	456.291	447.086	450.131	1503,06	1503,06	1503,06	1503,06	3570
	240	449.914	426.554	412.474	412.474	1527,30	1527,30	1527,30	1527,30	3360
	120	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	150	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	180	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	210	100,00%	96,12%	94,18%	94,82%	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%
	240	94,78%	89,86%	86,89%	86,89%	101,61%	101,61%	101,61%	101,61%	94,12%

Keterangan : dibandingkan terhadap nilai kinerja pada periode pengamatan dan waktu siklus terkecil dari setiap panjang LPRJ

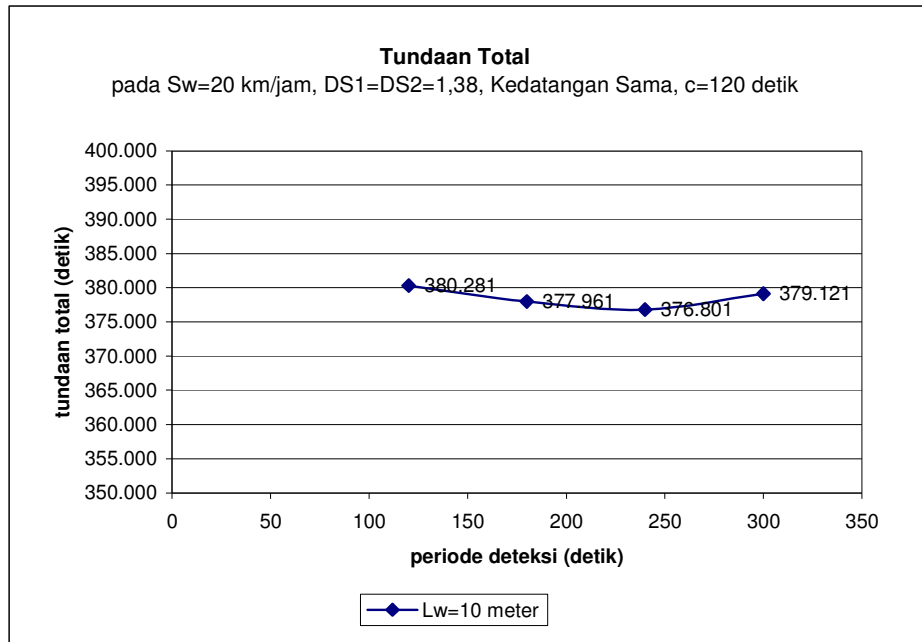
Tabel 4.19. Perbandingan Kinerja pada DS=2,76 Sw=30 km/jam

Panjang LPRJ	Waktu Siklus	total tundaan (detik)				throughput rata-rata (smp/jam)				periode lewat jenuh
		Periode Pengamatan (detik)				Periode Pengamatan (detik)				
		120	180	240	300	120	180	240	300	
meter	(detik)									detik
10	120	364.037	361.717	360.557	364.037	1569,73	1569,73	1569,73	1569,73	2880
	150	340.880	333.580	331.768	339.380	1595,18	1595,18	1595,18	1595,18	2700
	180	332.758	318.718	313.498	318.718	1612,15	1612,15	1612,15	1612,15	2700
	210	332.443	314.033	304.828	307.873	1624,27	1624,27	1624,27	1624,27	2520
	240	334.825	311.465	297.385	297.385	1633,36	1633,36	1633,36	1633,36	2400
	120	100,00%	99,36%	99,04%	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%
	150	93,64%	91,63%	91,14%	93,23%	101,62%	101,62%	101,62%	101,62%	93,75%
	180	91,41%	87,55%	86,12%	87,55%	102,70%	102,70%	102,70%	102,70%	93,75%
25	210	91,32%	86,26%	83,74%	84,57%	103,47%	103,47%	103,47%	103,47%	87,50%
	240	91,98%	85,56%	81,69%	81,69%	104,05%	104,05%	104,05%	104,05%	83,33%
	120	417.157	414.837	415.417	417.157	1527,30	1527,30	1527,30	1527,30	3240
	150	376.450	369.150	367.338	374.950	1561,24	1561,24	1561,24	1561,24	3000
	180	360.046	346.006	340.786	346.006	1583,87	1583,87	1583,87	1583,87	2880
	210	353.470	335.060	325.855	328.900	1600,03	1600,03	1600,03	1600,03	2730
	240	355.359	331.999	317.919	317.919	1612,15	1612,15	1612,15	1612,15	2640
	120	100,00%	99,44%	99,58%	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%
50	150	90,24%	88,49%	88,06%	89,88%	102,22%	102,22%	102,22%	102,22%	92,59%
	180	86,31%	82,94%	81,69%	82,94%	103,70%	103,70%	103,70%	103,70%	88,89%
	210	84,73%	80,32%	78,11%	78,84%	104,76%	104,76%	104,76%	104,76%	84,26%
	240	85,19%	79,59%	76,21%	76,21%	105,56%	105,56%	105,56%	105,56%	81,48%
	120	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	150	473.952	466.652	464.840	472.452	1493,36	1493,36	1493,36	1493,36	3600
	180	429.457	415.417	410.197	415.417	1527,30	1527,30	1527,30	1527,30	3240
	210	404.880	386.470	377.265	380.310	1551,54	1551,54	1551,54	1551,54	3150
75	240	397.997	374.637	360.557	360.557	1569,73	1569,73	1569,73	1569,73	2880
	120	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	150	100,00%	98,46%	98,08%	99,68%	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%
	180	90,61%	87,65%	86,55%	87,65%	102,27%	102,27%	102,27%	102,27%	90,00%
	210	85,43%	81,54%	79,60%	80,24%	103,90%	103,90%	103,90%	103,90%	87,50%
	240	83,97%	79,05%	76,07%	76,07%	105,11%	105,11%	105,11%	105,11%	80,00%
	120	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	150	-	-	-	-	-	-	-	-	-
100	180	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	210	474.701	456.291	447.086	450.131	1503,06	1503,06	1503,06	1503,06	3570
	240	449.914	426.554	412.474	412.474	1527,30	1527,30	1527,30	1527,30	3360
	120	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	150	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	180	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	210	100,00%	96,12%	94,18%	94,82%	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%
	240	94,78%	89,86%	86,89%	86,89%	101,61%	101,61%	101,61%	101,61%	94,12%

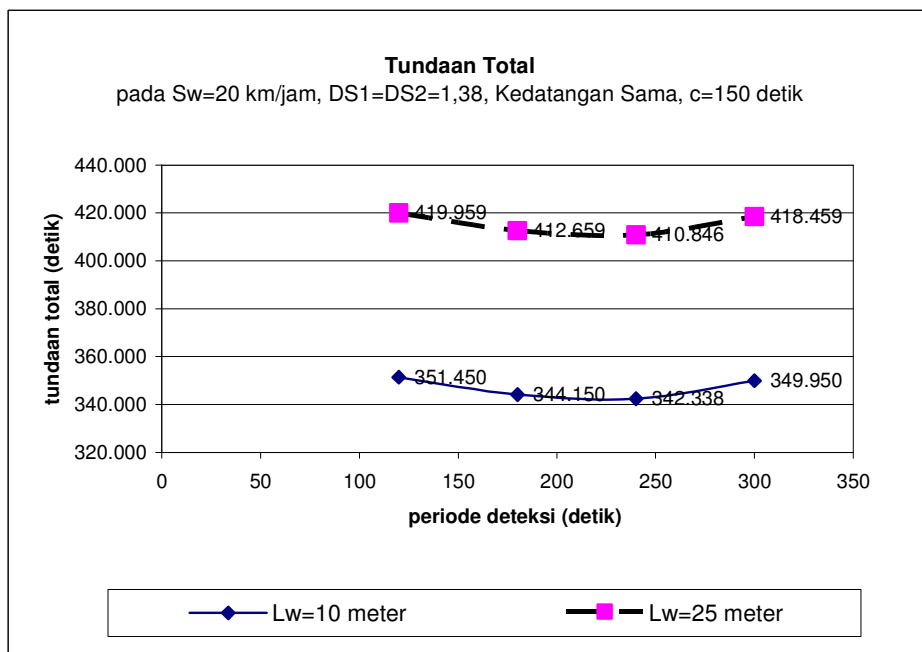
Keterangan : dibandingkan terhadap nilai kinerja pada periode pengamatan dan waktu siklus terkecil dari setiap panjang LPRJ

Periode Pengamatan Optimal

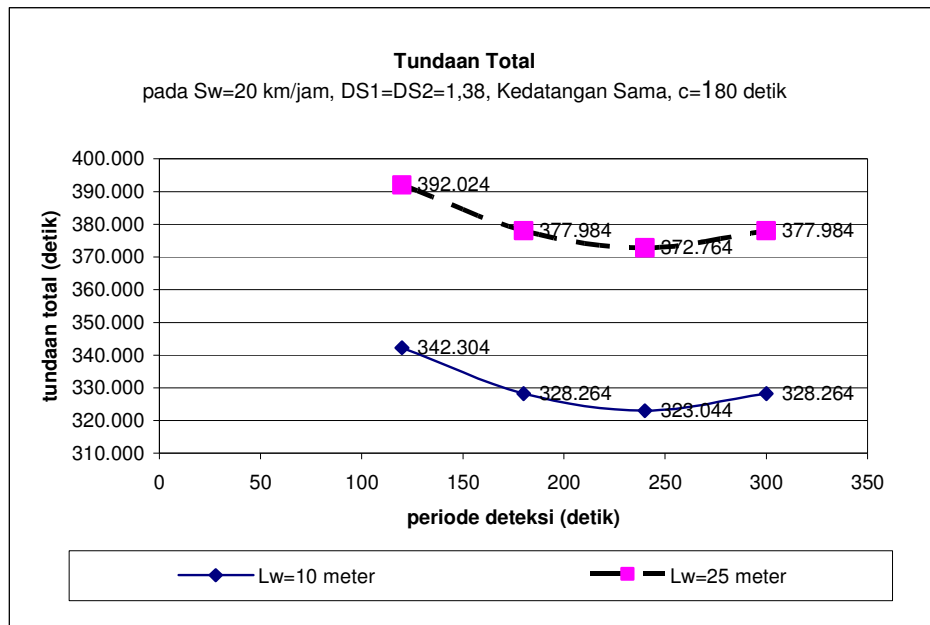
Hasil simulasi pada DS=2,76, split arus lalu lintas untuk kedua pendekatan 50:50 dan Sw=20 km/jam yang disajikan pada Gambar 4.13a sampai Gambar 4.13e dan Gambar 4.14a sampai Gambar 4.14e menunjukkan bahwa pada seluruh input waktu siklus, tundaan total terkecil pada periode pengamatan 240 detik.



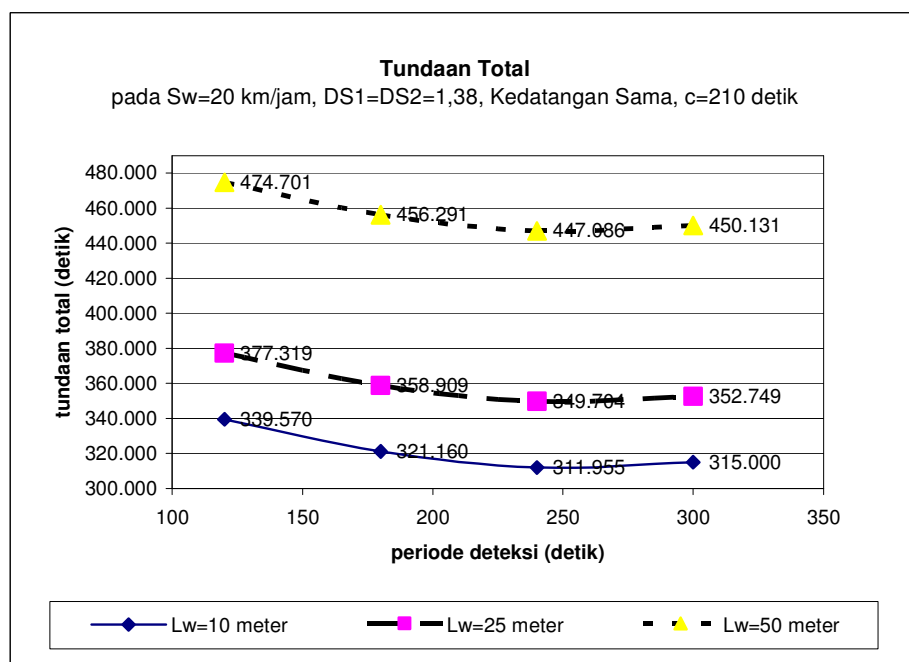
(a)



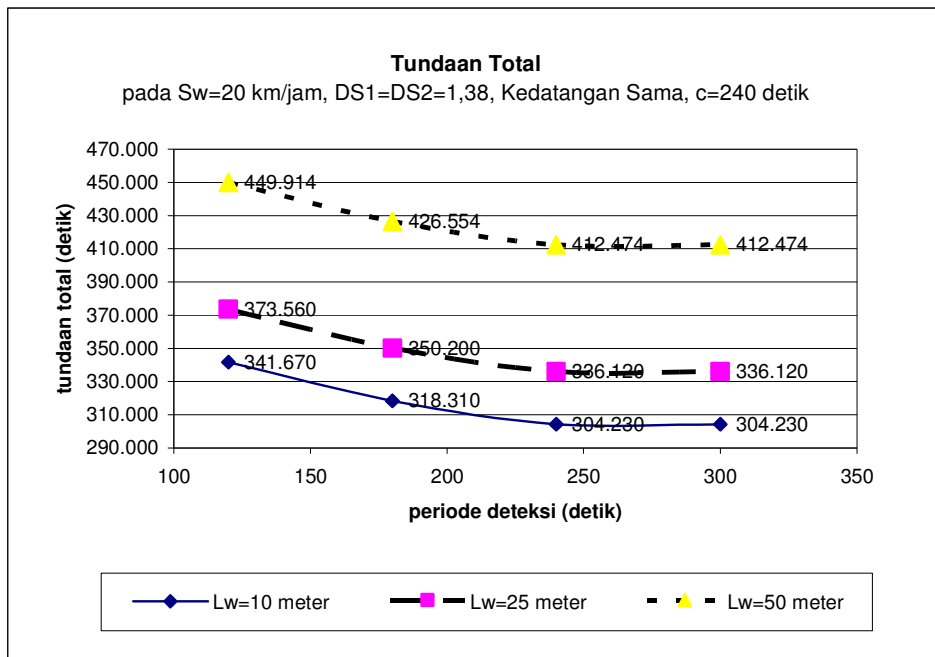
(b)



(c)

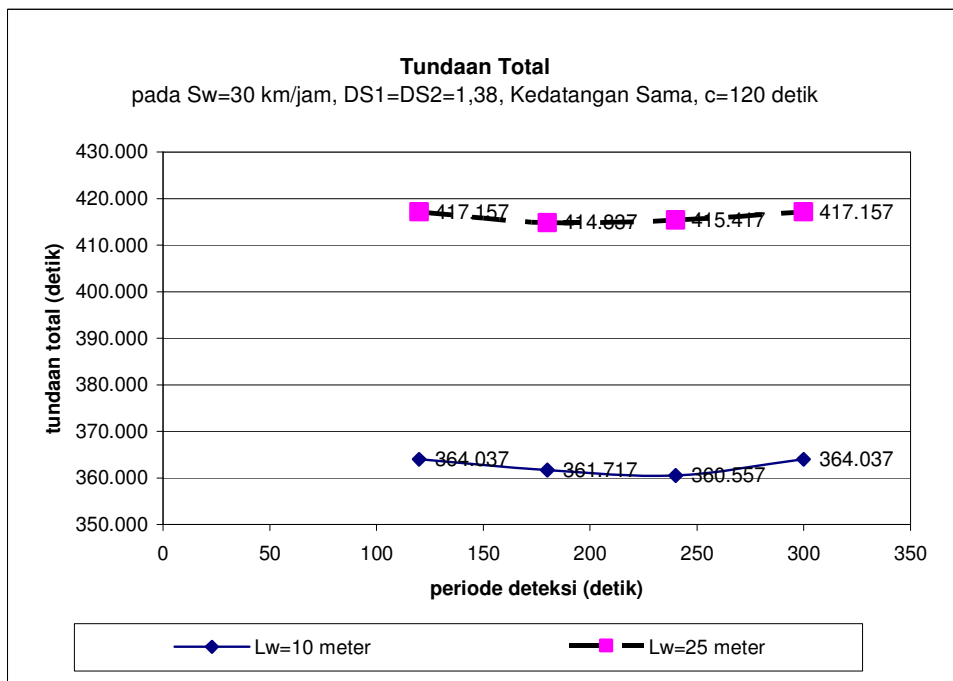


(d)

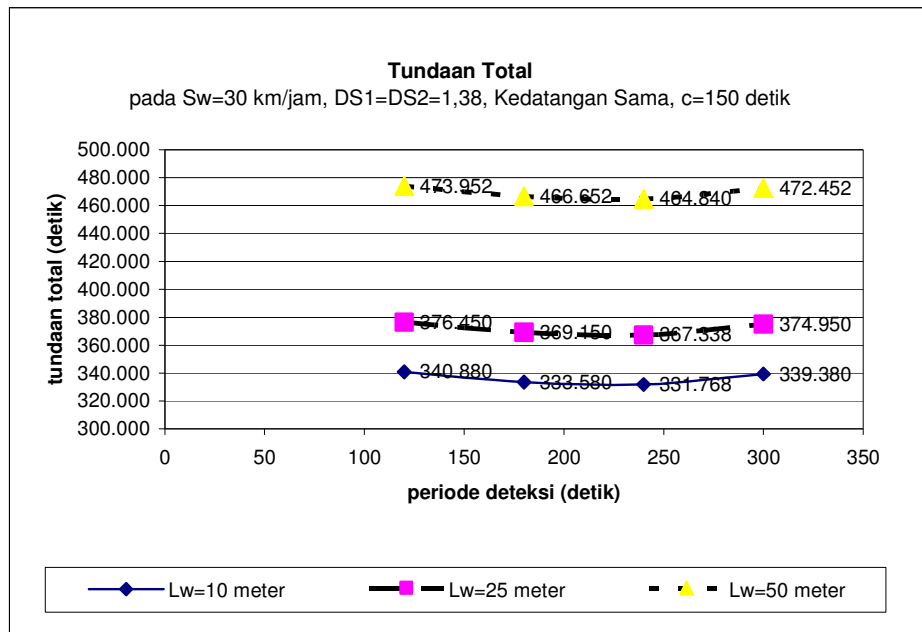


(e)

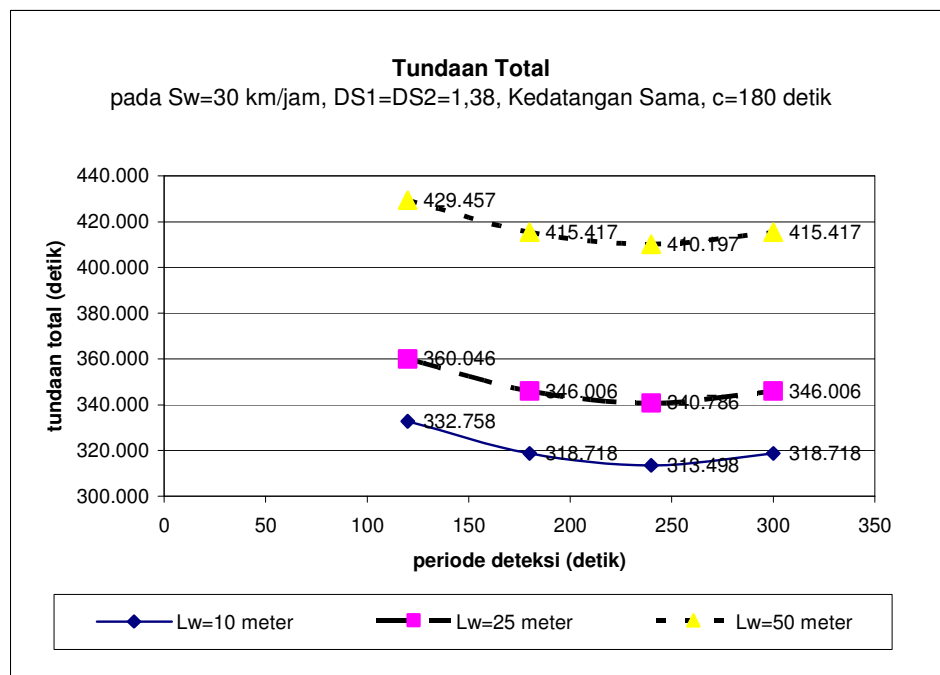
Gambar 4.13. Kinerja Kontrol Lalu Lintas Bersinyal di LPRJ pada DS = 2,76 dan Sw=20 km/jam Terhadap Variasi Periode Pengamatan dan Waktu Siklus



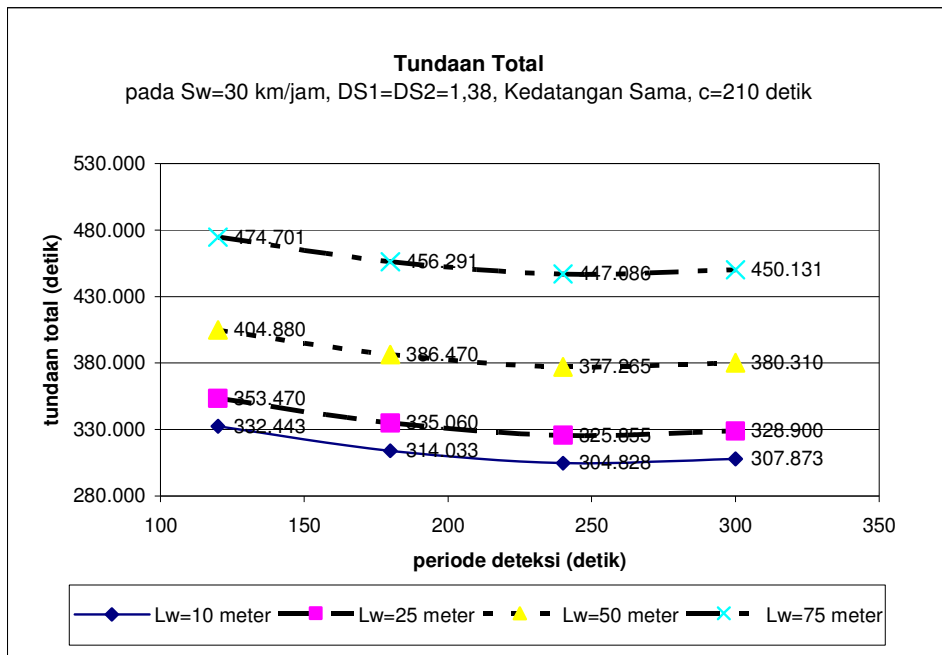
(a)



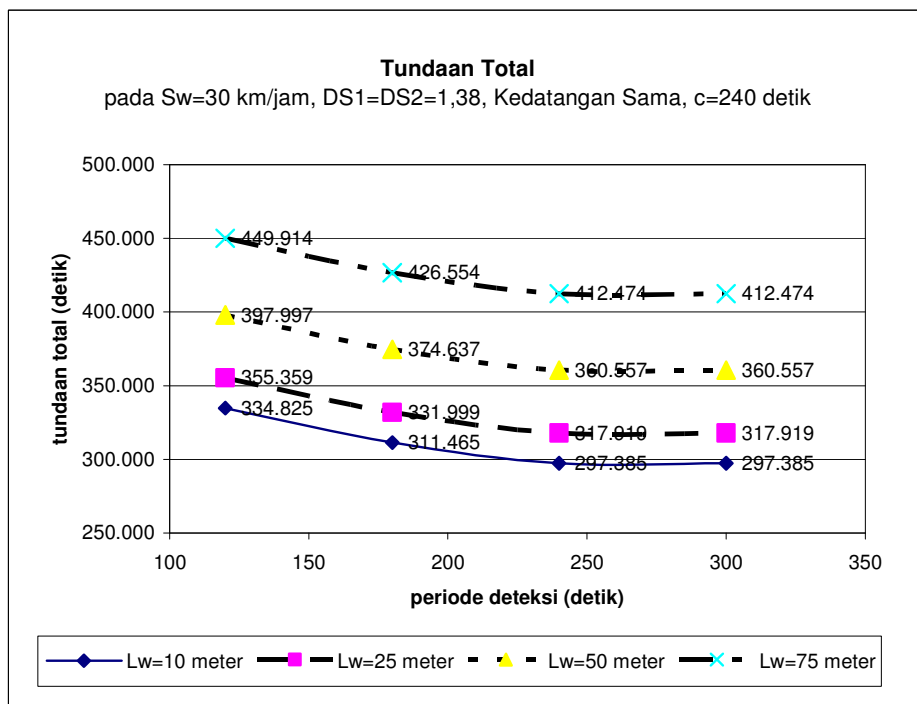
(b)



(c)



(d)

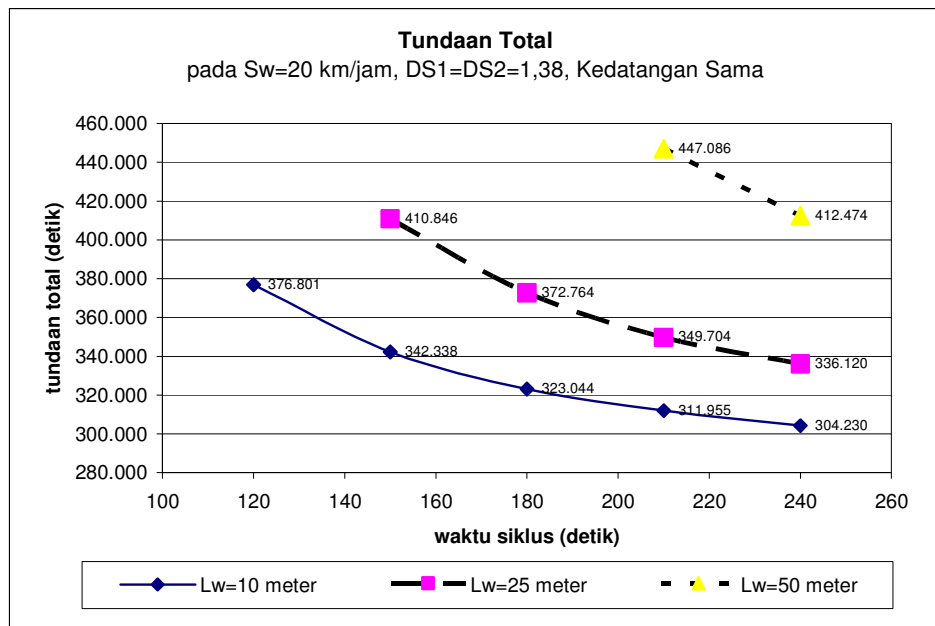


(e)

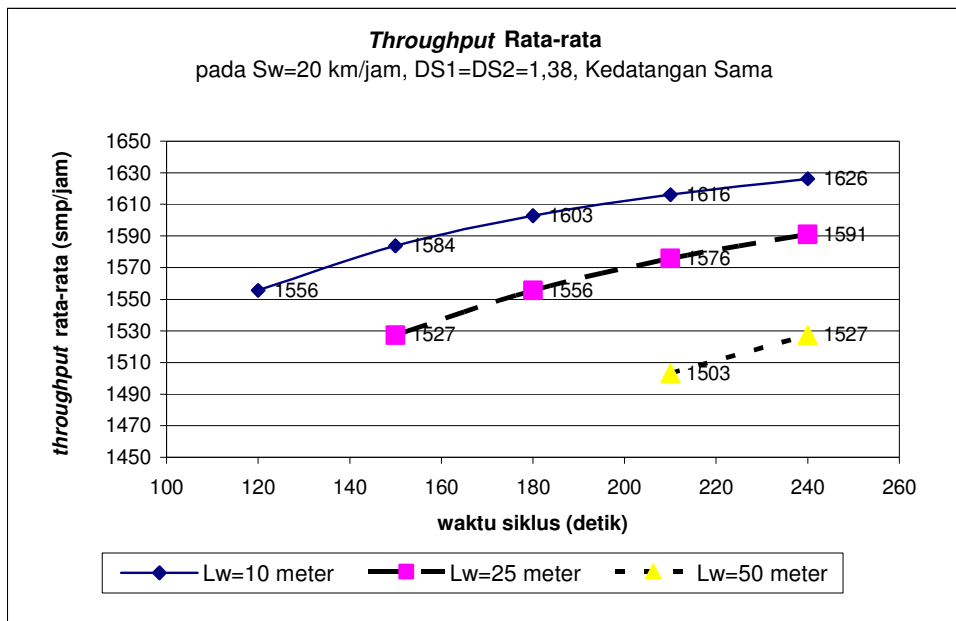
Gambar 4.14. Kinerja Kontrol Lalu Lintas Bersinyal di LPRJ pada DS = 2,76 dan Sw=30 km/jam Terhadap Variasi Periode Pengamatan dan Waktu Siklus

Waktu Siklus Optimal

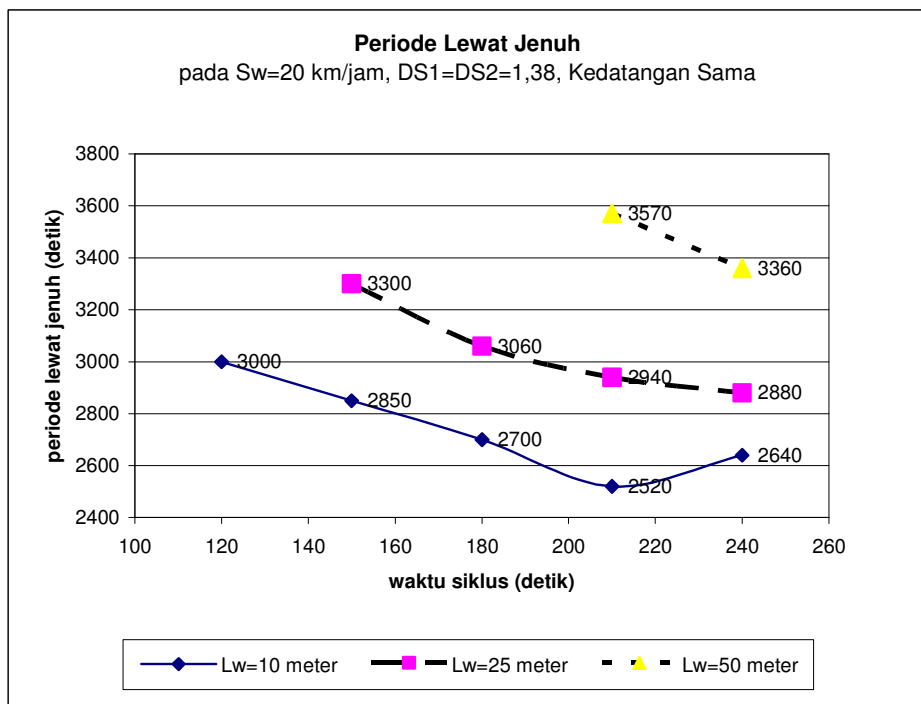
Kinerja hasil simulasi pada $DS=2,76$ dengan variasi waktu siklus 120 detik, 150 detik, 180 detik, 210 detik dan 240 detik, periode pengamatan arus kedatangan 240 detik pada $Sw=20$ km/jam dan $Sw=30$ km/jam, berupa tundaan total, *throughput* rata-rata dan lama periode lewat jenuh, disajikan pada Gambar 4.15a sampai Gambar 4.15c dan Gambar 4.16a sampai Gambar 4.16c. Hasil simulasi pada $DS=2,76$ menunjukkan bahwa semakin tinggi waktu siklus menimbulkan hasil semakin kecil tundaan total, semakin besar *throughput* rata-rata dan semakin menurunnya lama periode lewat jenuh dengan kinerja terbaik terjadi pada $c=240$ detik.



(a)

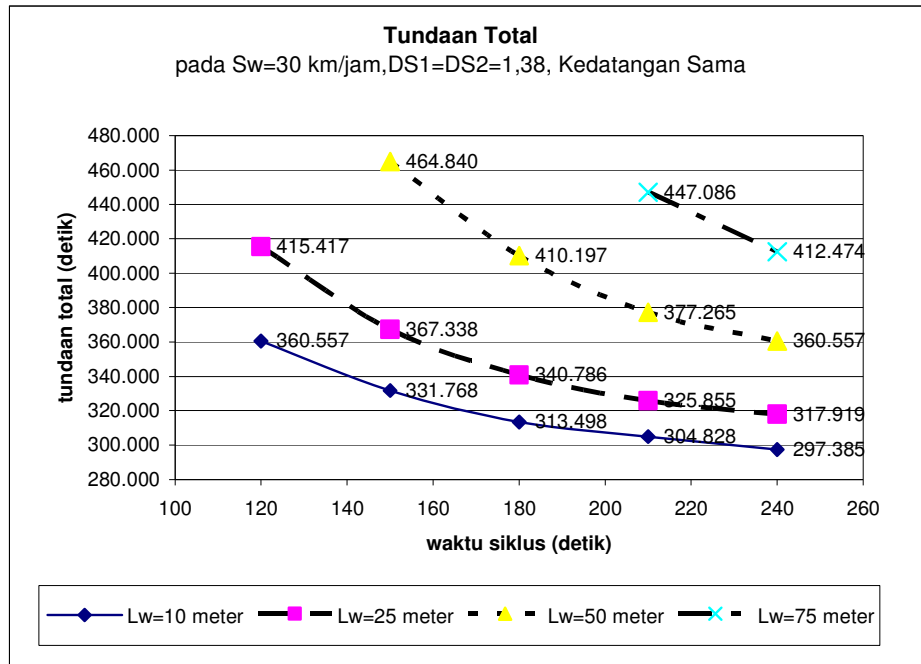


(b)

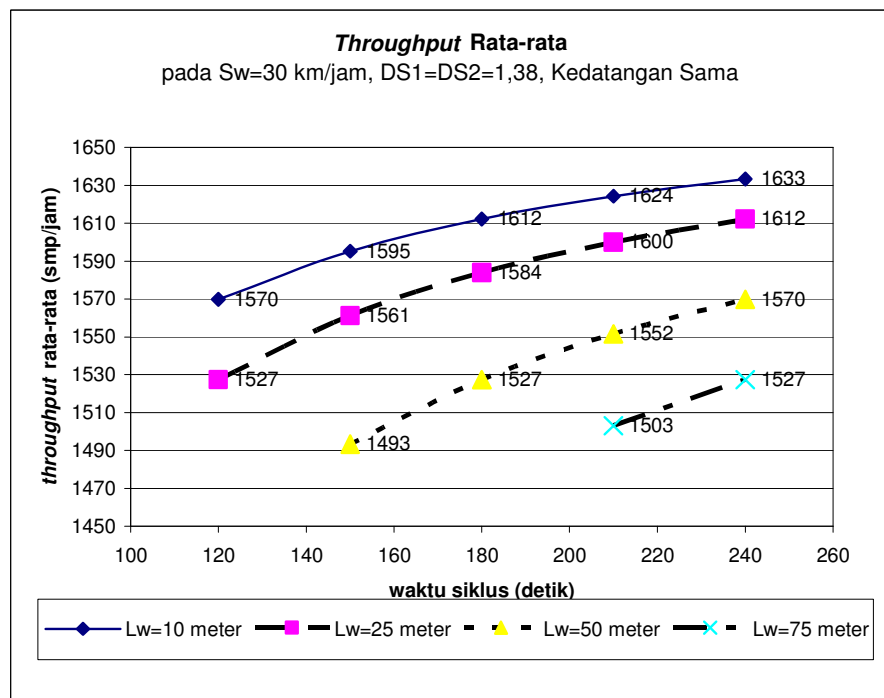


(c)

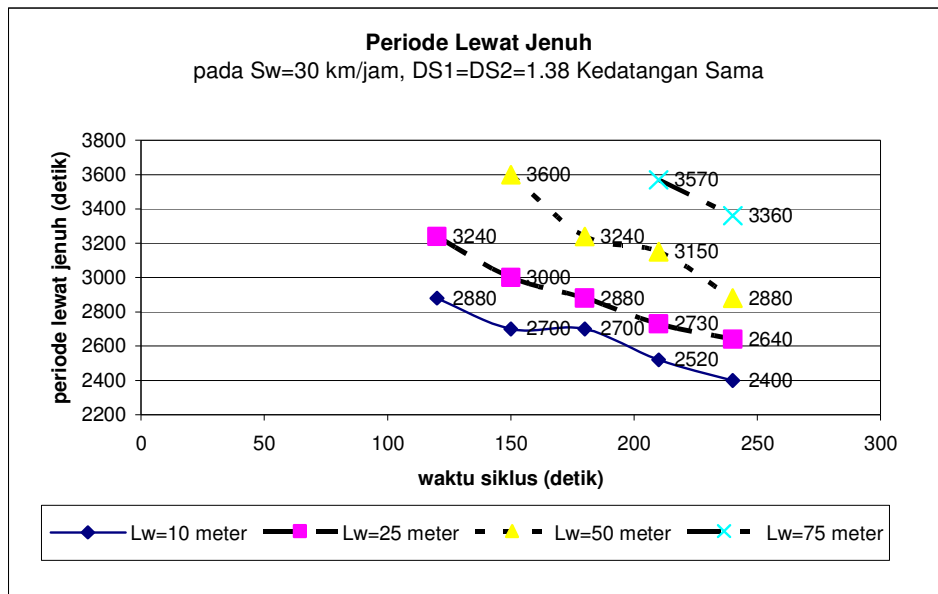
Gambar 4.15. Kinerja Kontrol Lalu Lintas di LPRJ pada Periode Pengamatan 240 detik, DS=2,76 dan Sw=20 km/jam Terhadap Waktu Siklus



(a)



(b)



(c)

Gambar 4.16. Kinerja Kontrol Lalu Lintas Bersinyal di LPRJ pada Periode Pengamatan 240 detik, $DS=2,76$ dan $Sw=30$ km/jam Terhadap Waktu Siklus

Persentase perbedaan kinerja antar waktu siklus pada $DS=2,76$, periode pengamatan 240 detik, disajikan pada Tabel 4.20, dimana persentase perbedaan ini dibandingkan terhadap nilai tundaan total, *throughput* rata-rata dan lama periode lewat jenuh pada $c=120$ detik. Bila dibandingkan dengan kinerja pada $c=120$ detik, nilai tundaan total pada $c=240$ detik menurunkan tundaan total 18%-23%, meningkatkan *throughput* rata-rata 2%-6% dan menurunkan lama periode lewat jenuh 17%-20%.

Persentase perbedaan kinerja antara simulasi pada $Sw=20$ km/jam dan $Sw=30$ km/jam dengan $DS=2,76$, periode pengamatan 240 detik, disajikan pada Tabel 4.21. Pada $DS=2,76$, peningkatan kecepatan rata-rata pada LPRJ dari 20 km/jam menjadi 30 km/jam, menimbulkan penurunan tundaan total 2%-13%, peningkatan *throughput* rata-rata 1%-3% dan penurunan lama periode lewat jenuh 8%-14%.

Tabel 4.20. Persentase Perbedaan Kinerja antar Waktu Siklus pada $DS=2,76$ –
 Periode Pengamatan 240 Detik

Panjang LPRJ	Waktu Siklus	tundaan total	throughput rata-rata	periode lewat jenuh	tundaan total	throughput rata-rata	periode lewat jenuh
Meter	detik	detik	smp/jam	detik	detik	smp/jam	detik
		Sw=20 km/jam			Sw=30 km/jam		
10	120	376.801	1555,58	3000	360.557	1.570	2.880
	150	342.338	1583,87	2850	331.768	1.595	2.700
	180	323.044	1602,72	2700	313.498	1.612	2.700
	210	311.955	1616,19	2520	304.828	1.624	2.520
	240	304.230	1626,29	2640	297.385	1.633	2.400
	120	100%	100%	100%	100%	100%	100%
	150	91%	102%	95%	92%	102%	94%
	180	86%	103%	90%	87%	103%	94%
	210	83%	104%	84%	85%	103%	88%
	240	81%	105%	88%	82%	104%	83%
25	120	-	-	-	415.417	1.527	3.240
	150	410.846	1527,30	3300	367.338	1.561	3.000
	180	372.764	1555,58	3060	340.786	1.584	2.880
	210	349.704	1575,79	2940	325.855	1.600	2.730
	240	336.120	1590,94	2880	317.919	1.612	2.640
	120	-	-	-	100%	100%	100%
	150	100%	100%	100%	88%	102%	93%
	180	91%	102%	93%	82%	104%	89%
	210	85%	103%	89%	78%	105%	84%
	240	82%	104%	87%	77%	106%	81%
50	120	-	-	-	-	-	-
	150	-	-	-	464.840	1.493	3.600
	180	-	-	-	410.197	1.527	3.240
	210	447.086	1503,06	3570	377.265	1.552	3.150
	240	412.474	1527,30	3360	360.557	1.570	2.880
	120	-	-	-	-	-	-
	150	-	-	-	100%	100%	100%
	180	-	-	-	88%	102%	90%
	210	100%	100%	100%	81%	104%	88%
	240	92%	102%	94%	78%	105%	80%
75	120	-	-	-	-	-	-
	150	-	-	-	-	-	-
	180	-	-	-	-	-	-
	210	-	-	-	447.086	1.503	3.570
	240	-	-	-	412.474	1.527	3.360
	120	-	-	-	-	-	-
	150	-	-	-	-	-	-
	180	-	-	-	-	-	-
	210	-	-	-	100%	100%	100%
	240	-	-	-	92%	102%	94%

Tabel 4.21. Persentase Perbedaan Kinerja Antara $Sw=20$ km/jam Dengan $Sw=30$ km/jam, $DS=2,76$ – Periode Pengamatan 240 Detik

Panjang LPRJ	Waktu Siklus	tundaan total	throughput rata-rata	periode lewat jenuh	tundaan total	throughput rata-rata	periode lewat jenuh	tundaan total	throughput rata-rata	periode lewat jenuh
meter	detik	detik	smp/jam	detik	detik	smp/jam	detik			
		Sw=20 km/jam			Sw=30 km/jam			perbedaan		
10	120	376.801	1555,58	3000	360.557	1.570	2.880	4%	1%	4%
	150	342.338	1583,87	2850	331.768	1.595	2.700	3%	1%	5%
	180	323.044	1602,72	2700	313.498	1.612	2.700	3%	1%	0%
	210	311.955	1616,19	2520	304.828	1.624	2.520	2%	0%	0%
	240	304.230	1626,29	2640	297.385	1.633	2.400	2%	0%	9%
25	120	-	-	-	415.417	1.527	3.240	-	-	-
	150	410.846	1527,30	3300	367.338	1.561	3.000	11%	2%	9%
	180	372.764	1555,58	3060	340.786	1.584	2.880	9%	2%	6%
	210	349.704	1575,79	2940	325.855	1.600	2.730	7%	2%	7%
	240	336.120	1590,94	2880	317.919	1.612	2.640	5%	1%	8%
50	120	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	150	-	-	-	464.840	1.493	3.600	-	-	-
	180	-	-	-	410.197	1.527	3.240	-	-	-
	210	447.086	1503,06	3570	377.265	1.552	3.150	16%	3%	12%
	240	412.474	1527,30	3360	360.557	1.570	2.880	13%	3%	14%

4.2.5. Proporsi Arus Kedatangan Kendaraan

Hasil simulasi yang diuraikan pada sub bab 4.2. adalah simulasi untuk proporsi arus kedatangan kendaraan dari masing-masing pendekat yang seimbang, yaitu 50:50. Dengan nilai Derajat Kejenuhan Total (DS) yang sama ($DS=1,44$; $1,86$, $2,26$ dan $2,76$) dan periode pengamatan 240 detik, dilakukan simulasi untuk proporsi arus kedatangan kendaraan 60:40 dan 70:30. Rangkuman hasil simulasi untuk proporsi arus kedatangan kendaraan 60:40 untuk $Sw=20$ km/jam dan $Sw=30$ km/jam disajikan pada Tabel 4.22 dan Tabel 4.23.

Proporsi arus kedatangan 60:40 dapat diselesaikan dengan metode penelitian pada $DS \geq 1,86$. Pada $DS=1,44$, terjadi kondisi arus tidak jenuh pada salah satu pendekat (DS pendekat 1 dan 2 = $0,86$ & $0,58$) yang berada di luar jangkauan metode penelitian, sehingga tidak didapatkan hasil waktu hijau optimal. Waktu hijau optimal pada $DS=1,44$ dengan $c=240$ detik, dicapai pada panjang LPRJ (Lw) 100 meter dan 125 meter untuk $Sw=20$ km/jam dan $Lw=150$ meter, 175 meter dan 200 meter untuk $Sw=30$ km/jam. Pada $DS \geq 1,86$ dan $c=240$ detik, simulasi memberikan hasil waktu hijau optimal yang berbeda antara proporsi arus kedatangan kendaraan 50:50 dengan 60:40, namun memberikan hasil yang sama

besar pada lama periode arus jenuh, tundaan total dan *throughput* rata-rata. Hal ini terjadi karena total jumlah kendaraan yang harus dilayani APILL sama, walaupun proporsi berbeda.

Proporsi arus kedatangan 70:30 baru dapat diselesaikan dengan metode penelitian pada $DS \geq 2,76$. Rangkuman hasil simulasi untuk proporsi arus kedatangan kendaraan 60:40 untuk $Sw=20$ km/jam dan $Sw=30$ km/jam disajikan pada Tabel 4.24.

Pada DS yang paling dekat dibawahnya yaitu 2,26, masih terjadi kondisi arus tidak jenuh pada salah satu pendekat (DS pendekat 1 dan 2=1,58 & 0,68) yang berada di luar jangkauan metode penelitian, sehingga tidak didapatkan hasil waktu hijau optimal. Waktu hijau optimal pada $DS=2,26$ dengan $c=240$ detik, dicapai pada panjang LPRJ (Lw) 50 meter dan 75 meter untuk $Sw=20$ km/jam dan $Lw=50$ meter sampai 125 meter untuk $Sw=30$ km/jam. Perbandingan hasil kinerja antara proporsi 50:50 dengan 60:40 dan 70:30 pada $Sw=20$ km/jam dan $Sw=30$ km/jam disajikan pada Tabel 4.25 dan Tabel 4.26.

Tabel 4.22. Kontrol Lalu Lintas Bersinyal Pada LPRJ Dengan Periode Pengamatan 240 Detik, Kecepatan Rata-Rata Pada LPRJ = 20 km/jam, Split Arus Kedatangan 60:40

derajat kejenuhan		Panjang LPRJ	Waktu Siklus	waktu hijau 1 (detik)		waktu hijau 2 (detik)		periode lewat jenuh	total tundaan (detik)			throughput rata-rata (kend/jam)		
1	2	meter	(detik)	1	2	1	2	detik	1	2	total	1	2	total
0,86	0,58	50	120	61	35	54	42	2400	44.165	62.075	106.240	813,15	544,45	1357,60
0,86	0,58	75	180	86	61	92	55	2160	57.655	27.993	85.648	834,36	551,53	1385,88
0,86	0,58	100	240	118	80	120	78	1920	49.716	30.271	79.987	837,89	562,13	1400,03
0,86	0,58	125	240	114	75	111	78	2880	71.797	53.325	125.122	799,00	537,38	1336,39
1,12	0,74	10	240	140	90	119	111	1440	48.012	37.536	85.548	965,17	661,12	1626,29
1,12	0,74	25	240	114	111	154	71	1680	78.136	16.297	94.433	967,69	623,24	1590,94
1,12	0,74	50	240	142	74	105	111	1920	44.999	74.464	119.462	905,95	621,35	1527,30
1,12	0,74	75	240	140	67	106	101	2400	50.788	104.042	154.830	869,71	593,95	1463,66
1,12	0,74	100	240	123	75	110	88	3120	105.173	108.233	213.406	834,36	565,67	1400,03
1,36	0,90	10	240	148	82	104	126	1920	74.156	93.022	167.179	968,70	657,59	1626,29
1,36	0,90	25	240	99	126	155	70	2160	161.954	22.959	184.913	963,99	626,95	1590,94
1,36	0,90	50	240	146	70	105	111	2640	82.034	144.980	227.014	900,57	626,73	1527,30
1,36	0,90	75	240	118	89	135	72	3120	211.107	81.862	292.968	880,59	583,07	1463,66
1,66	1,10	10	240	140	90	116	114	2640	174.231	129.999	304.230	959,06	667,23	1626,29
1,66	1,10	25	240	139	86	116	109	2880	180.751	155.369	336.120	942,19	648,75	1590,94
1,66	1,10	50	240	134	82	114	102	3360	216.754	195.719	412.474	907,09	620,21	1527,30

Tabel 4. 23. Kontrol Lalu Lintas Bersinyal Pada LPRJ Dengan Periode Pengamatan 240 Detik, Kecepatan Rata-Rata Pada LPRJ = 30 km/jam, Split Arus Kedatangan 60:40

derajat kejenuhan		Panjang LPRJ	Waktu Siklus	waktu hijau 1 (detik)		waktu hijau 2 (detik)		periode lewat jenuh	total tundaan (detik)			throughput rata-rata (kend/jam)		
1	2	meter	(detik)	1	2	1	2	detik	1	2	total	1,00	2,00	total
0,86	0,58	75	120	61	35	54	42	2400	44.165	62.075	106.240	813,15	544,45	1357,60
0,86	0,58	100	180	95	55	82	68	1800	30.317	41.968	72.285	846,61	567,55	1414,17
0,86	0,58	125	210	106	68	100	74	1890	41.119	34.822	75.941	840,42	565,67	1406,09
0,86	0,58	150	240	118	80	120	78	1920	49.716	30.271	79.987	837,89	562,13	1400,03
0,86	0,58	175	240	122	70	108	84	2400	44.165	62.075	106.240	813,15	544,45	1357,60
0,86	0,58	200	240	110	76	114	72	3360	99.237	52.329	151.566	789,91	525,26	1315,18
1,12	0,74	10	240	140	91	119	112	1440	48.012	35.500	83.512	965,17	668,19	1633,36
1,12	0,74	25	240	142	86	109	119	1440	44.618	45.003	89.621	965,17	646,98	1612,15
1,12	0,74	50	240	140	82	111	111	1680	48.834	53.913	102.748	931,33	638,40	1569,73
1,12	0,74	75	240	142	74	105	111	1920	44.999	74.464	119.462	905,95	621,35	1527,30
1,12	0,74	100	240	140	70	107	103	2160	50.081	91.720	141.801	886,21	598,66	1484,88
1,12	0,74	125	240	134	70	105	99	2640	62.959	107.470	170.428	854,29	588,16	1442,45
1,12	0,74	150	240	123	75	110	88	3120	105.173	108.233	213.406	834,36	565,67	1400,03
1,36	0,90	10	240	156	75	105	126	1920	61.203	102.356	163.558	967,82	665,54	1.633,36
1,36	0,90	25	240	150	78	114	114	1920	75.288	99.132	174.419	965,17	646,98	1612,15
1,36	0,90	50	240	148	74	103	119	2160	74.388	124.270	198.658	940,42	629,30	1.569,73
1,36	0,90	75	240	146	70	105	111	2640	82.034	144.980	227.014	900,57	626,73	1.527,30
1,36	0,90	100	240	140	70	105	105	2880	96.632	171.832	268.464	886,80	598,07	1.484,88
1,36	0,90	125	240	126	78	112	92	3360	166.101	155.978	322.078	862,64	579,81	1.442,45
1,66	1,10	10	240	156	75	112	119	2400	121.703	178.887	300.590	978,60	654,76	1633,36
1,66	1,10	25	240	158	70	109	119	2640	114.893	203.026	317.919	959,70	652,45	1612,15
1,66	1,10	50	240	140	82	111	111	2880	175.660	184.897	360.557	938,65	631,07	1569,73
1,66	1,10	75	240	134	82	114	102	3360	216.754	195.719	412.474	907,09	620,21	1527,30

Tabel 4.24. Kontrol Lalu Lintas Bersinyal Pada LPRJ Dengan Periode Pengamatan 240 Detik, Split Arus Kedatangan 70:30

derajat kejenuhan		Panjang LPRJ	Kecepatan LPRJ	Waktu Siklus	waktu hijau 1 (detik)		waktu hijau 2 (detik)		periode lewat jenuh	total tundaan (detik)			throughput rata-rata (kend/jam)		
1	2	meter	km/jam	(detik)	1	2	1	2	detik	1	2	total	1	2	total
1,58	0,68	10	20	120	78	32	72	38	2280	137.993	69.916	207.909	1085,19	470,40	1555,58
1,58	0,68	25	20	210	140	55	123	72	2310	119.862	70.564	190.426	1093,87	481,92	1575,79
1,58	0,68	50	20	240	156	60	132	84	2640	138.226	88.788	227.014	1056,77	470,53	1527,30
1,58	0,68	75	20	240	146	61	138	69	3120	198.587	94.381	292.968	1019,29	444,37	1463,66
1,93	0,83	10	20	240	164	66	148	82	2640	200.477	103.753	304.230	1128,76	497,53	1626,29
1,93	0,83	25	20	240	156	69	164	61	2880	243.334	92.786	336.120	1117,19	473,75	1590,94
1,93	0,83	50	20	240	156	60	134	82	3360	255.329	157.145	412.474	1058,60	468,70	1527,30
1,58	0,68	10	30	120	78	33	76	35	2160	136.773	61.886	198.658	1098,34	471,39	1569,73
1,58	0,68	25	30	150	99	39	88	50	2250	128.646	73.582	202.228	1086,83	474,41	1561,24
1,58	0,68	50	30	240	156	66	148	74	2160	136.716	61.942	198.658	1096,76	472,96	1569,73
1,58	0,68	75	30	240	156	60	132	84	2640	138.226	88.788	227.014	1056,77	470,53	1527,30
1,58	0,68	100	30	240	147	63	142	68	2880	189.008	79.456	268.464	1033,52	451,35	1484,88
1,58	0,68	125	30	240	142	62	144	60	3360	232.466	89.612	322.078	1008,10	434,35	1442,45
1,93	0,83	10	30	240	164	67	153	78	2640	197.931	99.454	297.385	1138,40	494,96	1633,36
1,93	0,83	25	30	240	164	64	142	86	2640	203.531	114.388	317.919	1117,19	494,96	1612,15
1,93	0,83	50	30	240	155	67	154	68	2880	255.778	104.779	360.557	1094,80	474,92	1569,73
1,93	0,83	75	30	240	156	60	134	82	3360	255.329	157.145	412.474	1058,60	468,70	1527,30

Tabel 4.25. Perbandingan Kinerja Antar Proporsi Arus Kedatangan Kendaraan, $S_w = 20$ km/jam, $c = 240$ Detik

DS	Panjang LPRJ	50:50				60:40				70:30				periode lewat jenuh	tundaan total (detik)	throughput rata-rata (smp/jam)
		waktu hijau 1 (detik)		waktu hijau 2 (detik)		waktu hijau 1 (detik)		waktu hijau 2 (detik)		waktu hijau 1 (detik)		waktu hijau 2 (detik)				
	meter	1	2	1	2									detik	total	total
1,44	10	94	136	138	92	-	-	-	-	-	-	-	-	960	27.995	1626,29
1,44	25	138	87	87	138	-	-	-	-	-	-	-	-	960	32.520	1590,94
1,44	50	110	106	95	121	-	-	-	-	-	-	-	-	1200	42.060	1527,30
1,44	75	105	102	95	112	-	-	-	-	-	-	-	-	1440	56.545	1463,66
1,44	100	116	82	89	109	118	80	120	78	-	-	-	-	1920	79.987	1400,03
1,44	125	103	86	88	101	114	75	111	78	-	-	-	-	2880	125.122	1336,39
1,86	10	140	90	88	142	140	90	119	111	-	-	-	-	1440	85.548	1626,29
1,86	25	89	136	134	91	114	111	154	71	-	-	-	-	1680	94.433	1590,94
1,86	50	118	98	88	128	142	74	105	111	-	-	-	-	1920	119.462	1527,30
1,86	75	117	90	88	119	140	67	106	101	-	-	-	-	2400	154.830	1463,66
1,86	100	122	76	88	110	123	75	110	88	-	-	-	-	3120	213.406	1400,03
2,26	10	156	74	89	141	148	82	104	126	-	-	-	-	1920	167.179	1626,29
2,26	25	142	83	86	139	99	126	155	70	-	-	-	-	2160	184.913	1590,94
2,26	50	114	102	94	122	146	70	105	111	156	60	132	84	2640	227.014	1527,30
2,26	75	125	82	89	118	118	89	135	72	146	61	138	69	3120	292.968	1463,66
2,76	10	140	90	91	139	140	90	116	114	164	66	148	82	2640	304.230	1626,29
2,76	25	134	91	87	138	139	86	116	109	156	69	164	61	2880	336.120	1590,94
2,76	50	125	91	89	127	134	82	114	102	156	60	134	82	3360	412.474	1527,30

Tabel 4.26. Perbandingan Kinerja Antar Proporsi Arus Kedatangan Kendaraan, $Sw = 30 \text{ km/jam}$, $c = 240 \text{ Detik}$

DS	Panjang LPRJ meter	50:50				60:40				70:30				periode lewat jenuh detik	tundaan total (detik) total	throughput rata-rata (smp/jam) total
		waktu hijau 1 (detik)		waktu hijau 2 (detik)		waktu hijau 1 (detik)		waktu hijau 2 (detik)		waktu hijau 1 (detik)		waktu hijau 2 (detik)				
		1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2			
1,44	10	166	65	95	136	-	-	-	-	-	-	-	-	960	27.090	1633,36
1,44	25	138	90	87	141	-	-	-	-	-	-	-	-	960	29.805	1612,15
1,44	50	136	86	88	134	-	-	-	-	-	-	-	-	1200	33.575	1569,73
1,44	75	110	106	95	121	-	-	-	-	-	-	-	-	1200	42.060	1527,30
1,44	100	136	74	87	123	-	-	-	-	-	-	-	-	1440	50.436	1484,88
1,44	125	110	94	89	115	-	-	-	-	-	-	-	-	1680	62.400	1442,45
1,44	150	116	82	89	109	118	80	120	78	-	-	-	-	1920	79.987	1400,03
1,44	175	102	90	90	102	122	70	108	84	-	-	-	-	2400	106.240	1357,60
1,44	200	97	89	89	97	110	76	114	72	-	-	-	-	3360	151.566	1315,18
1,86	10	164	67	89	142	140	91	119	112	-	-	-	-	1440	83.512	1633,36
1,86	25	142	86	86	142	142	86	109	119	-	-	-	-	1440	89.621	1612,15
1,86	50	140	82	87	135	140	82	111	111	-	-	-	-	1680	102.748	1569,73
1,86	75	118	98	88	128	142	74	105	111	-	-	-	-	1920	119.462	1527,30
1,86	100	116	94	90	120	140	70	107	103	-	-	-	-	2160	141.801	1484,88
1,86	125	114	90	90	114	134	70	105	99	-	-	-	-	2640	170.428	1442,45
1,86	150	122	76	88	110	123	75	110	88	-	-	-	-	3120	213.406	1400,03
2,26	10	156	75	89	142	156	75	105	126	-	-	-	-	1920	163.558	1633,36
2,26	25	142	86	86	142	150	78	114	114	-	-	-	-	2160	171.167	1612,15
2,26	50	140	82	88	134	148	74	103	119	156	66	148	74	2160	198.658	1569,73
2,26	75	114	102	94	122	146	70	105	111	156	60	132	84	2640	227.014	1527,30
2,26	100	137	73	88	122	140	70	105	105	147	63	142	68	2880	268.464	1484,88
2,26	125	110	94	91	113	126	78	112	92	142	62	144	60	3360	322.078	1442,45
2,76	10	140	91	91	140	156	75	112	119	164	67	153	78	2400	297.385	1633,36
2,76	25	134	94	88	140	158	70	109	119	164	64	142	86	2640	317.919	1612,15
2,76	50	123	99	93	129	140	82	111	111	155	67	154	68	2880	360.557	1569,73
2,76	75	125	91	89	127	134	82	114	102	156	60	134	82	3360	412.474	1527,30

BAB V PEMBAHASAN PENELITIAN

5.1. Periode Pengamatan Kedatangan Kendaraan Optimal

5.1.1. Perbandingan Kinerja Antar Periode Pengamatan Kedatangan Kendaraan

Perbandingan kinerja kontrol lalu lintas bersinyal pada LPRJ dengan variasi periode pengamatan kedatangan kendaraan, DS dan panjang LPRJ pada waktu siklus 240 detik dan persentase perbedaan tundaan total terhadap tundaan total pada periode pengamatan 240 detik disajikan pada Tabel 5.1.

Rangkuman hasil simulasi dengan variasi periode pengamatan kedatangan kendaraan sebesar 120 detik, 180 detik, 240 detik dan 300 detik menunjukkan bahwa :

- a. Pada waktu siklus 120 detik sampai 210 detik, untuk seluruh variasi nilai DS dan variasi kecepatan, tundaan total terkecil terjadi pada periode pengamatan kedatangan kendaraan 240 detik, namun seluruh periode pengamatan kedatangan kendaraan yang dievaluasi memiliki nilai *throughput* rata-rata dan periode arus lewat jenuh yang sama.
- b. Pada waktu siklus 240 detik, periode pengamatan kedatangan kendaraan 240 detik dan 300 detik memiliki tundaan total terkecil, dan seperti pada waktu siklus yang lain, memiliki nilai *throughput* rata-rata dan periode arus lewat jenuh yang sama pada seluruh periode pengamatan kedatangan kendaraan yang dievaluasi.
- c. Khusus untuk DS=1,44, pada waktu siklus 240 detik ini, periode pengamatan kedatangan kendaraan 300 detik memiliki nilai tundaan total yang sedikit lebih kecil (1%) dibanding periode pengamatan kedatangan kendaraan 240 detik. Namun perbedaan antara periode pengamatan kedatangan kendaraan 240 dan 300 detik sangat kecil dan yang tidak signifikan.
- d. Sekalipun periode lewat jenuh untuk seluruh periode pengamatan berakhir pada waktu yang sama, namun bila dilihat perbandingan tundaan total yang terjadi, periode pengamatan kedatangan kendaraan 120 detik dan 180 detik menimbulkan tundaan total yang relatif besar bila dibandingkan dengan periode pengamatan kedatangan kendaraan 240 detik dan 300 detik.

- e. Pada panjang LPRJ 10-25 meter, tundaan total pada periode pengamatan kedatangan kendaraan 300 detik memiliki nilai 1% lebih kecil dibandingkan dengan periode pengamatan kedatangan kendaraan 240 detik.
- f. Semakin besar DS, semakin besar perbedaan tundaan total antara periode pengamatan kedatangan kendaraan 120 detik dan 180 detik terhadap tundaan total periode pengamatan kedatangan kendaraan 240 detik.

Pada Tabel 5.1 dapat diketahui persentase peningkatan tundaan total, yang terjadi apabila dilakukan perubahan periode pengamatan dari 240 detik menjadi 120 detik atau 180 detik, untuk berbagai variasi nilai derajat kejenuhan total (DS), variasi panjang LPRJ (L_w) dan pada variasi kecepatan rata-rata pada LPRJ (S_w). Sebagai contoh, pada $DS=1,44$, $S_w=20$ km/jam dan $L_w=10$ meter, bila periode pengamatan kedatangan kendaraan dipercepat dari 240 detik menjadi 120 detik akan menghasilkan tundaan total 70% lebih besar.

5.1.2. Hubungan Periode Pengamatan Dengan Lokasi Detektor

Kebutuhan jarak detektor dari garis henti menurut kecepatan kendaraan yang disajikan pada Tabel 4.3 menunjukkan, bahwa semakin panjang periode pengamatan kedatangan kendaraan, semakin panjang kebutuhan jarak detektor dari garis henti. Karena itu, periode pengamatan kedatangan kendaraan 300 detik memerlukan lokasi pemasangan detektor dari garis henti yang lebih panjang dibandingkan dengan periode pengamatan kedatangan kendaraan 240 detik.

Berdasarkan perbedaan tundaan total yang tidak signifikan antara periode pengamatan kedatangan kendaraan 240 detik dengan 300 detik dan keterkaitan antara periode pengamatan kedatangan kendaraan dengan lokasi detektor, maka periode pengamatan kedatangan kendaraan 240 detik dipilih sebagai periode pengamatan kedatangan kendaraan yang optimal. Tabel 5.2 adalah rekomendasi jarak detektor dari garis henti untuk mengantisipasi kedatangan arus lewat jenuh berdasarkan perhitungan pada Tabel 4.3.

Tabel 5.1. Perbandingan Kinerja Kontrol Lalu Lintas Bersinyal pada LPRJ dengan Variasi Periode Pengamatan Kedatangan Kendaraan, DS dan Panjang LPRJ , $c= 240$ Detik

DS	Sw	Panjang LPRJ	total tundaan (detik)				periode lewat jenuh	throughput rata-rata	% perbedaan terhadap periode= 240 detik			
			Periode pengamatan (detik)						Periode pengamatan (detik)			
	km/jam	meter	120	180	240	300	detik	smp/jam	120	180	240	300
$1 \leq DS \leq 1.5$	20	10	47.675	35.835	27.995	27.803	960	1626	70%	28%	0%	-1%
		25	52.200	40.360	32.520	32.328	960	1591	61%	24%	0%	-1%
		50	61.740	49.900	42.060	41.868	1.200	1.527	47%	19%	0%	0%
		75	76.225	64.385	56.545	56.353	1.440	1.464	35%	14%	0%	0%
		100	99.667	87.827	79.795	79.795	1.920	1.400	25%	10%	0%	0%
	30	125	144.802	132.962	125.122	124.930	2.880	1.336	16%	6%	0%	0%
		10	46.770	34.930	27.090	26.898	960	1.633	73%	29%	0%	-1%
		25	49.485	37.645	29.805	29.613	960	1.612	66%	26%	0%	-1%
		50	53.255	41.415	33.575	33.383	1.200	1.570	59%	23%	0%	-1%
		75	61.740	49.900	42.060	41.868	1.200	1.527	47%	19%	0%	0%
		100	70.116	58.276	50.436	50.244	1.440	1.485	39%	16%	0%	0%
		125	82.080	70.240	62.400	62.208	1.680	1.442	32%	13%	0%	0%
		150	99.667	87.827	79.987	79.795	1.920	1.400	25%	10%	0%	0%
		175	125.920	114.080	106.240	106.048	2.400	1.358	19%	7%	0%	0%
200	171.246	159.406	151.566	151.374	3.360	1.315	13%	5%	0%	0%		
$1.5 \leq DS \leq 2$	20	10	111.468	95.788	85.548	85.836	1.440	1.626	30%	12%	0%	0%
		25	120.353	104.673	94.433	94.721	1.680	1.591	27%	11%	0%	0%
		50	145.382	129.702	119.462	119.750	1.920	1.527	22%	9%	0%	0%
		75	180.750	165.070	154.830	155.118	2.400	1.464	17%	7%	0%	0%
		100	239.326	223.646	213.406	213.694	3.120	1.400	12%	5%	0%	0%
	30	10	109.432	93.752	83.512	83.800	1.440	1.633	31%	12%	0%	0%
		25	115.541	99.861	89.621	89.909	1.440	1.612	29%	11%	0%	0%
		50	128.668	112.988	102.748	103.036	1.680	1.570	25%	10%	0%	0%
		75	145.382	129.702	119.462	119.750	1.920	1.527	22%	9%	0%	0%
		100	167.721	152.041	141.801	142.089	2.160	1.485	18%	7%	0%	0%
		125	196.348	180.668	170.428	170.716	2.640	1.442	15%	6%	0%	0%
		150	239.326	223.646	213.406	213.694	3.120	1.400	12%	5%	0%	0%

Lanjutan Tabel 5.1

DS	Sw	Panjang LPRJ	total tundaan (detik)				periode lewat jenuh	throughput rata-rata	% perbedaan terhadap periode= 240 detik			
			Periode pengamatan (detik)						Periode pengamatan (detik)			
	km/jam	meter	120	180	240	300	detik	smp/jam	120	180	240	300
$2 \leq DS \leq 2,5$	20	10	197.899	179.019	167.179	167.179	1.920	1.626	18%	7%	0%	0%
		25	215.633	196.753	184.913	184.913	2.160	1.591	17%	6%	0%	0%
		50	257.734	238.854	227.014	227.014	2.640	1.527	14%	5%	0%	0%
		75	323.688	304.808	292.968	292.968	3.120	1.464	10%	4%	0%	0%
	30	10	194.278	175.398	163.558	163.558	1.920	1.633	19%	7%	0%	0%
		25	201.887	183.007	171.167	171.167	2.160	1.612	18%	7%	0%	0%
		50	229.378	210.498	198.658	198.658	2.160	1.570	15%	6%	0%	0%
		75	257.734	238.854	227.014	227.014	2.640	1.527	14%	5%	0%	0%
		100	299.184	280.304	268.464	268.464	2.880	1.485	11%	4%	0%	0%
		125	352.798	333.918	322.078	322.078	3.360	1.442	10%	4%	0%	0%
$2,5 < DS \leq 3$	20	10	341.670	318.310	304.230	304.230	2.640	1.626	12%	5%	0%	0%
		25	373.560	350.200	336.120	336.120	2.880	1.591	11%	4%	0%	0%
		50	449.914	426.554	412.474	412.474	3.360	1.527	9%	3%	0%	0%
	30	10	334.825	311.465	297.385	297.385	2.400	1.633	13%	5%	0%	0%
		25	355.359	331.999	317.919	317.919	2.640	1.612	12%	4%	0%	0%
		50	397.997	374.637	360.557	360.557	2.880	1.570	10%	4%	0%	0%
		75	449.914	426.554	412.474	412.474	3.360	1.527	9%	3%	0%	0%

Tabel 5.2. Rekomendasi Lokasi Detektor

Jenis Jalan	Kecepatan rata-rata	Jarak detektor dari garis henti
	km/jam	meter
luar kota	60	4000 dan 2000
perkotaan	40	2700 dan 1300
	<30	2000

5.2. Waktu Siklus Optimal

Hasil simulasi terhadap variasi waktu siklus menunjukkan bahwa waktu siklus 240 detik merupakan waktu siklus dengan tundaan total terkecil, *throughput* rata-rata terbesar dan lama periode arus jenuh terkecil.

Tundaan total, *throughput* rata-rata dan periode lewat jenuh pada periode pengamatan kedatangan kendaraan 240 detik terhadap variasi waktu siklus dan persentase perbedaannya terhadap waktu siklus 240 detik disajikan pada Tabel 5.3, Tabel 5.4 dan Tabel 5.5. Pada ketiga Tabel tersebut dapat diketahui pengaruh perubahan waktu siklus terhadap waktu siklus 240 detik. Sebagai contoh, pada pada $DS=1,44$, $Sw=20$ km/jam dan $Lw=10$ meter, perubahan waktu siklus dari 240 detik menjadi 120 detik akan menghasilkan tundaan total 34% lebih besar, *throughput* rata-rata menurun 4% dan periode arus jenuh meningkat sebesar 13%.

Kesimpulan dari hasil simulasi yang dirangkum pada ketiga Tabel tersebut adalah:

- Sebagian besar tundaan total terkecil terjadi pada waktu siklus 240 detik. Tundaan total terkecil pada waktu siklus 210 detik terjadi pada panjang LPRJ 10 meter dan 25 meter, untuk $1 \leq DS \leq 1,5$ dan pada panjang LPRJ 25 meter untuk $1,5 \leq DS \leq 2$ dan $2 \leq DS \leq 2,5$.
- Throughput* rata-rata terbesar terjadi pada waktu siklus 240 detik untuk seluruh DS dan panjang LPRJ.
- Periode arus jenuh terkecil sebagian besar juga terjadi pada waktu siklus 240 detik, kecuali pada $2 \leq DS \leq 2,5$, kecepatan 30 km/jam dengan panjang LPRJ 10 dan 25 meter. Pada kedua panjang LPRJ ini periode arus jenuh terpendek terjadi pada waktu siklus 210 detik. Hal ini disebabkan hanya oleh perbedaan

nilai kelipatan waktu siklus, karena pada kondisi yang sama tundaan total terkecil terjadi pada waktu siklus 240 detik.

Berdasarkan uraian hasil simulasi di atas, maka waktu siklus optimal ditetapkan sebesar 240 detik.

Tabel 5.3. Tundaan Total dan Persentase Perbedaan Tundaan Total Terhadap Waktu Siklus 240 Detik – Periode Pengamatan 240 Detik

DS	Sw	Panjang LPRJ	total tundaan (detik)					% perbedaan total tundaan terhadap c=240 detik							
			km/jam	meter	Waktu Siklus (detik)					Waktu Siklus (detik)					
					120	150	180	210	240	120	150	180	210	240	
1 ≤ DS ≤ 1,5	20	10	37.436	32.270	28.539	27.096	27.995	34%	15%	2%	-3%	0%			
		25	51.060	41.190	36.176	33.283	32.520	57%	27%	11%	2%	0%			
		50	106.240	67.584	53.249	45.841	42.060	153%	61%	27%	9%	0%			
		75	-	139.031	85.648	66.056	56.545	-	146%	51%	17%	0%			
		100	-	-	-	105.605	79.795	-	-	-	-	32%	0%		
		125	-	-	-	-	125.122	-	-	-	-	-	0%		
	30	10	35.145	30.538	27.012	25.858	27.090	30%	13%	0%	-5%	0%			
		25	42.060	35.735	31.594	29.571	29.805	41%	20%	6%	-1%	0%			
		50	63.012	47.993	40.330	35.150	33.575	88%	43%	20%	5%	0%			
		75	106.240	67.584	53.249	45.841	42.060	153%	61%	27%	9%	0%			
		100	-	105.370	72.285	56.553	50.436	-	109%	43%	12%	0%			
		125	-	-	104.537	75.941	62.400	-	-	68%	22%	0%			
		150	-	-	-	104.702	79.987	-	-	-	31%	0%			
		175	-	-	-	159.759	106.240	-	-	-	50%	0%			
200	-	-	-	-	151.566	-	-	-	-	0%					
1,5 < DS < 2	20	10	108.291	96.275	89.098	86.613	85.548	27%	13%	4%	1%	0%			
		25	141.801	117.770	105.398	98.655	94.433	50%	25%	12%	4%	0%			
		50	-	185.327	148.077	129.220	119.462	-	55%	24%	8%	0%			
		75	-	-	230.552	179.744	154.830	-	-	49%	16%	0%			
		100	-	-	-	-	213.406	-	-	-	-	0%			
	30	10	102.748	93.331	87.671	84.188	83.512	23%	12%	5%	1%	0%			
		25	119.462	104.831	95.971	89.151	89.621	33%	17%	7%	-1%	0%			
		50	171.599	135.542	116.715	108.158	102.748	67%	32%	14%	5%	0%			
		75	-	185.327	148.077	129.220	119.462	-	55%	24%	8%	0%			
		100	-	-	195.810	159.191	141.801	-	-	38%	12%	0%			
		125	-	-	-	205.197	170.428	-	-	-	20%	0%			
		150	-	-	-	-	213.406	-	-	-	-	0%			
	2 ≤ DS ≤ 2,5	20	10	207.909	188.107	176.718	167.813	167.179	24%	13%	6%	0%	0%		
			25	268.464	226.632	204.779	190.426	184.913	45%	23%	11%	3%	0%		
50			-	347.361	281.511	247.628	227.014	-	53%	24%	9%	0%			
75			-	-	-	338.420	292.968	-	-	-	16%	0%			
30		10	198.658	181.177	171.584	166.038	163.558	21%	11%	5%	2%	0%			
		25	228.761	202.228	186.854	177.713	171.167	34%	18%	9%	4%	0%			
		50	322.078	258.198	226.121	208.393	198.658	62%	30%	14%	5%	0%			
		75	-	347.361	281.511	247.628	227.014	-	53%	24%	9%	0%			
		100	-	-	-	302.899	268.464	-	-	-	13%	0%			
		125	-	-	-	-	322.078	-	-	-	-	0%			
2,5 < DS ≤ 3	20	10	376.801	342.338	323.044	311.955	304.230	24%	13%	6%	3%	0%			
		25	-	410.846	372.764	349.704	336.120	-	22%	11%	4%	0%			
		50	-	-	-	447.086	412.474	-	-	-	8%	0%			
	30	10	360.557	331.768	313.498	304.828	297.385	21%	12%	5%	3%	0%			
		25	415.417	367.338	340.786	325.855	317.919	31%	16%	7%	2%	0%			
		50	-	464.840	410.197	377.265	360.557	-	29%	14%	5%	0%			
		75	-	-	-	447.086	412.474	-	-	-	8%	0%			

Tabel 5.4. Throughput Rata-Rata dan Persentase Perbedaan Throughput Rata-Rata Terhadap Waktu Siklus 240 Detik – Periode Pengamatan 240 Detik

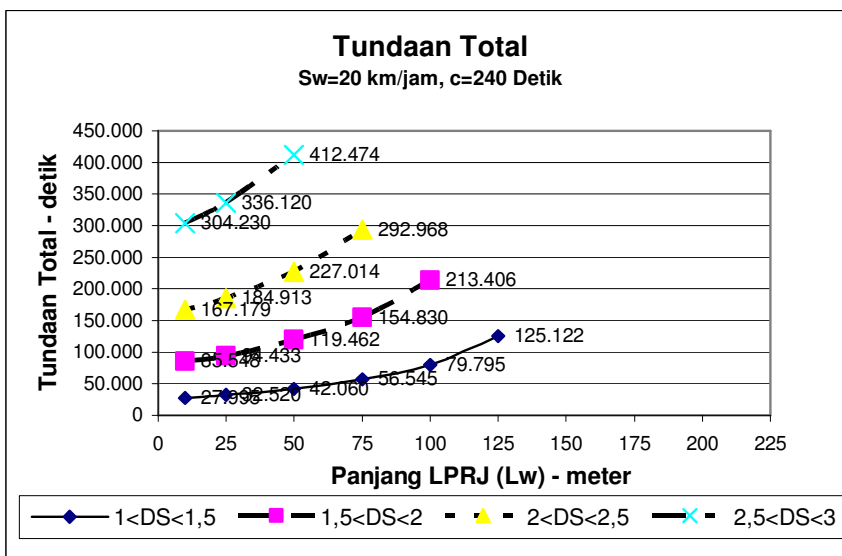
DS	Sw	Panjang LPRJ meter	throughput rata-rata					% perbedaan throughput rata-rata terhadap c=240 detik				
			Waktu Siklus (detik)					Waktu Siklus (detik)				
			120	150	180	210	240	120	150	180	210	240
1 ≤ DS ≤ 1,5	20	10	1.556	1.584	1.603	1.616	1.626	-4%	-3%	-1%	-1%	0%
		25	1.485	1.527	1.556	1.576	1.591	-7%	-4%	-2%	-1%	0%
		50	1.358	1.425	1.471	1.503	1.527	-11%	-7%	-4%	-2%	0%
		75	-	1.324	1.386	1.430	1.464	-	-10%	-5%	-2%	0%
		100	-	-	-	1.358	1.400	-	-	-	-3%	0%
		125	-	-	-	-	1.336	-	-	-	-	0%
	30	10	1.570	1.595	1.612	1.624	1.633	-4%	-2%	-1%	-1%	0%
		25	1.527	1.561	1.584	1.600	1.612	-5%	-3%	-2%	-1%	0%
		50	1.442	1.493	1.527	1.552	1.570	-8%	-5%	-3%	-1%	0%
		75	1.358	1.425	1.471	1.503	1.527	-11%	-7%	-4%	-2%	0%
		100	-	1.358	1.414	1.455	1.485	-	-9%	-5%	-2%	0%
		125	-	-	1.358	1.406	1.442	-	-	-6%	-3%	0%
		150	-	-	-	1.358	1.400	-	-	-	-3%	0%
		175	-	-	-	1.309	1.358	-	-	-	-4%	0%
200	-	-	-	-	1.315	-	-	-	-	0%		
1,5 ≤ DS ≤ 2	20	10	1.556	1.584	1.603	1.616	1.626	-4%	-3%	-1%	-1%	0%
		25	1.485	1.527	1.556	1.576	1.591	-7%	-4%	-2%	-1%	0%
		50	-	1.425	1.471	1.503	1.527	-	-7%	-4%	-2%	0%
		75	-	-	1.386	1.430	1.464	-	-	-5%	-2%	0%
		100	-	-	-	-	1.400	-	-	-	-	0%
	30	10	1.570	1.595	1.612	1.624	1.633	-4%	-2%	-1%	-1%	0%
		25	1.527	1.561	1.584	1.600	1.612	-5%	-3%	-2%	-1%	0%
		50	1.442	1.493	1.527	1.552	1.570	-8%	-5%	-3%	-1%	0%
		75	-	1.425	1.471	1.503	1.527	-	-7%	-4%	-2%	0%
		100	-	-	1.414	1.455	1.485	-	-	-5%	-2%	0%
		125	-	-	-	1.406	1.442	-	-	-	-3%	0%
		150	-	-	-	-	1.400	-	-	-	-	0%
		175	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0%
		200	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0%
2 ≤ DS ≤ 2,5	20	10	1.556	1.584	1.603	1.616	1.626	-4%	-3%	-1%	-1%	0%
		25	1.485	1.527	1.556	1.576	1.591	-7%	-4%	-2%	-1%	0%
		50	-	1.425	1.471	1.503	1.527	-	-7%	-4%	-2%	0%
		75	-	-	-	1.430	1.464	-	-	-	-2%	0%
	30	10	1.570	1.595	1.612	1.624	1.633	-4%	-2%	-1%	-1%	0%
		25	1.527	1.561	1.584	1.600	1.612	-5%	-3%	-2%	-1%	0%
		50	1.442	1.493	1.527	1.552	1.570	-8%	-5%	-3%	-1%	0%
		75	-	1.425	1.471	1.503	1.527	-	-7%	-4%	-2%	0%
		100	-	-	-	1.455	1.485	-	-	-	-2%	0%
		125	-	-	-	-	1.442	-	-	-	-	0%
		150	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0%
		175	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0%
		200	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0%
		2,5 < DS ≤ 3	20	10	1.556	1.584	1.603	1.616	1.626	-4%	-3%	-1%
25	-			1.527	1.556	1.576	1.591	-	-4%	-2%	-1%	0%
50	-			-	-	1.503	1.527	-	-	-	-2%	0%
30	10		1.570	1.595	1.612	1.624	1.633	-4%	-2%	-1%	-1%	0%
	25		1.527	1.561	1.584	1.600	1.612	-5%	-3%	-2%	-1%	0%
	50		-	1.493	1.527	1.552	1.570	-	-5%	-3%	-1%	0%
	75		-	-	-	1.503	1.527	-	-	-	-2%	0%
	100		-	-	-	-	-	-	-	-	-	0%

Tabel 5.5. Periode Lewat Jenuh dan Persentase Perbedaan Periode Lewat Jenuh Terhadap Waktu Siklus 240 Detik - Periode Pengamatan 240 Detik

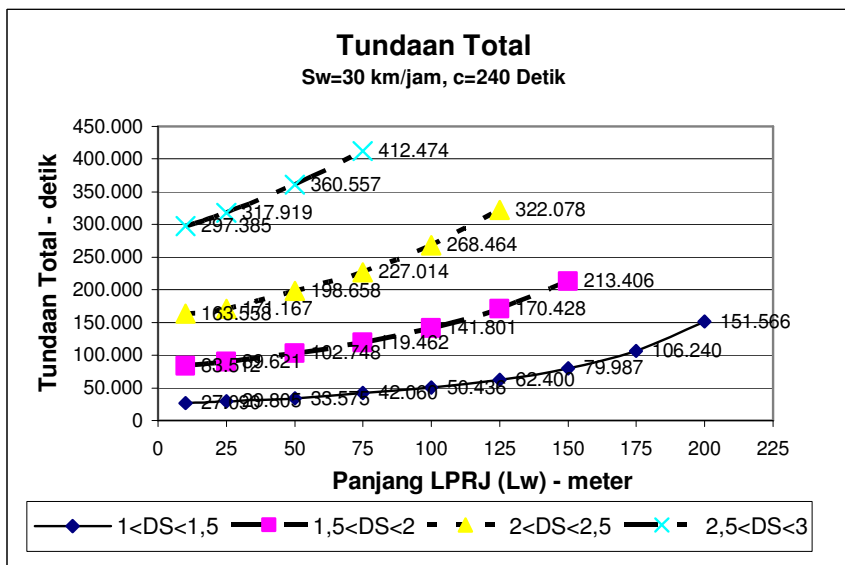
DS	Sw	Panjang LPRJ	periode lewat jenuh					% perbedaan periode lewat jenuh terhadap c=240 detik						
			Waktu Siklus (detik)					Waktu Siklus (detik)						
			120	150	180	210	240	120	150	180	210	240		
1 ≤ DS ≤ 1,5	20	10	1.080	1.050	1.080	1.050	960	13%	9%	13%	9%	0%		
		25	1.320	1.200	1.080	1.050	960	38%	25%	13%	9%	0%		
		50	2.400	1.800	1.440	1.260	1.200	100%	50%	20%	5%	0%		
		75	-	3.150	2.160	1.680	1.440	-	119%	50%	17%	0%		
		100	-	-	-	2.520	1.920	-	-	-	31%	0%		
		125	-	-	-	-	2.880	-	-	-	-	0%		
	30	10	1.570	1.595	1.612	1.624	1.633	-4%	-2%	-1%	-1%	0%		
		25	1.527	1.561	1.584	1.600	1.612	-5%	-3%	-2%	-1%	0%		
		50	1.442	1.493	1.527	1.552	1.570	-8%	-5%	-3%	-1%	0%		
		75	1.358	1.425	1.471	1.503	1.527	-11%	-7%	-4%	-2%	0%		
		100	-	1.358	1.414	1.455	1.485	-	-9%	-5%	-2%	0%		
		125	-	-	1.358	1.406	1.442	-	-	-6%	-3%	0%		
		150	-	-	-	1.358	1.400	-	-	-	-3%	0%		
		175	-	-	-	1.309	1.358	-	-	-	-4%	0%		
200	-	-	-	-	1.315	-	-	-	-	0%				
1,5 ≤ DS ≤ 2	20	10	1.680	1.650	1.620	1.470	1.440	17%	15%	13%	2%	0%		
		25	2.160	1.950	1.800	1.680	1.680	29%	16%	7%	0%	0%		
		50	-	2.700	2.340	2.100	1.920	-	41%	22%	9%	0%		
		75	-	-	3.240	2.730	2.400	-	-	35%	14%	0%		
		100	-	-	-	-	3.120	-	-	-	-	0%		
	30	10	1.680	1.500	1.440	1.470	1.440	17%	4%	0%	2%	0%		
		25	1.920	1.650	1.620	1.680	1.440	33%	15%	13%	17%	0%		
		50	2.520	2.100	1.980	1.680	1.680	50%	25%	18%	0%	0%		
		75	-	2.700	2.340	2.100	1.920	-	41%	22%	9%	0%		
		100	-	-	2.880	2.520	2.160	-	-	33%	17%	0%		
		125	-	-	-	2.940	2.640	-	-	-	11%	0%		
		150	-	-	-	-	3.120	-	-	-	-	0%		
		2 ≤ DS ≤ 2,5	20	10	2280	2100	1980	2100	1920	19%	9%	3%	9%	0%
				25	2880	2550	2340	2310	2160	33%	18%	8%	7%	0%
50	-			3600	3060	2730	2640	-	36%	16%	3%	0%		
75	-			-	-	3570	3120	-	-	-	14%	0%		
30	10		2.160	2.100	1.980	1.890	1.920	13%	9%	3%	-2%	0%		
	25		2.520	2.250	2.160	2.100	2.160	17%	4%	0%	-3%	0%		
	50		3.360	2.700	2.520	2.310	2.160	56%	25%	17%	7%	0%		
	75		-	3.600	3.060	2.730	2.640	-	36%	16%	3%	0%		
	100		-	-	-	3.150	2.880	-	-	-	9%	0%		
	125		-	-	-	-	3.360	-	-	-	-	0%		
	2,5 < DS ≤ 3		20	10	3.000	2.850	2.700	2.520	2.640	14%	8%	2%	-5%	0%
				25	-	3.300	3.060	2.940	2.880	-	15%	6%	2%	0%
50				-	-	-	3.570	3.360	-	-	-	6%	0%	
30			10	2.880	2.700	2.700	2.520	2.400	20%	13%	13%	5%	0%	
		25	3.240	3.000	2.880	2.730	2.640	23%	14%	9%	3%	0%		
		50	-	3.600	3.240	3.150	2.880	-	25%	13%	9%	0%		
		75	-	-	-	3.570	3.360	-	-	-	6%	0%		

Besaran tundaan total untuk berbagai DS untuk periode pengamatan 240 detik dan waktu siklus 240 detik pada kecepatan 20 km/jam dan 30 km/jam

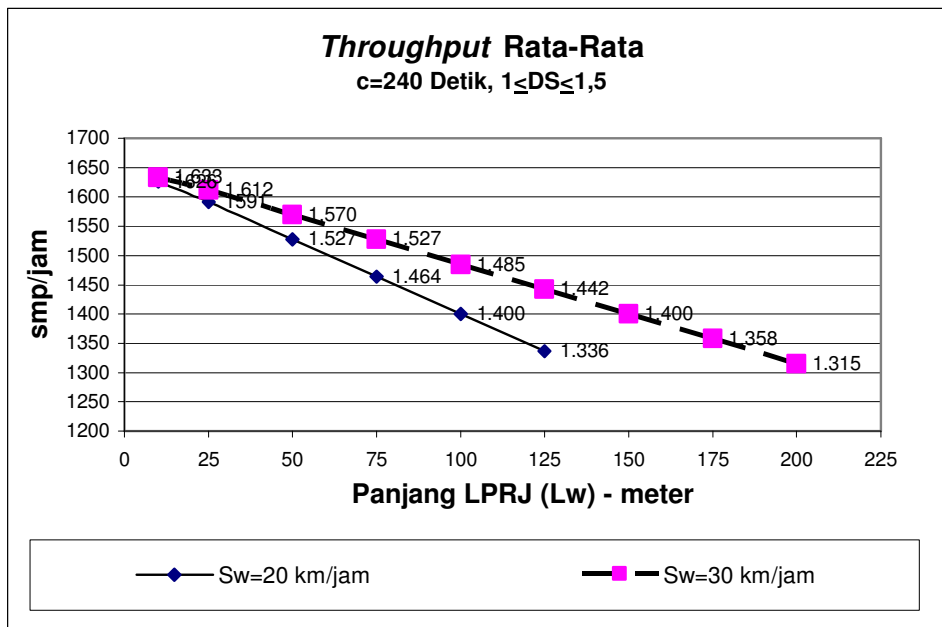
disajikan pada Gambar 5.1, dan Gambar 5.2. *Throughput* rata-rata untuk periode pengamatan 240 detik dan waktu siklus 240 detik pada masing-masing DS disajikan Pada Gambar 5.3 sampai Gambar 5.6. Periode arus jenuh untuk periode pengamatan 240 detik dan waktu siklus 240 detik pada masing-masing DS disajikan Pada Gambar 5.7 sampai Gambar 5.10.



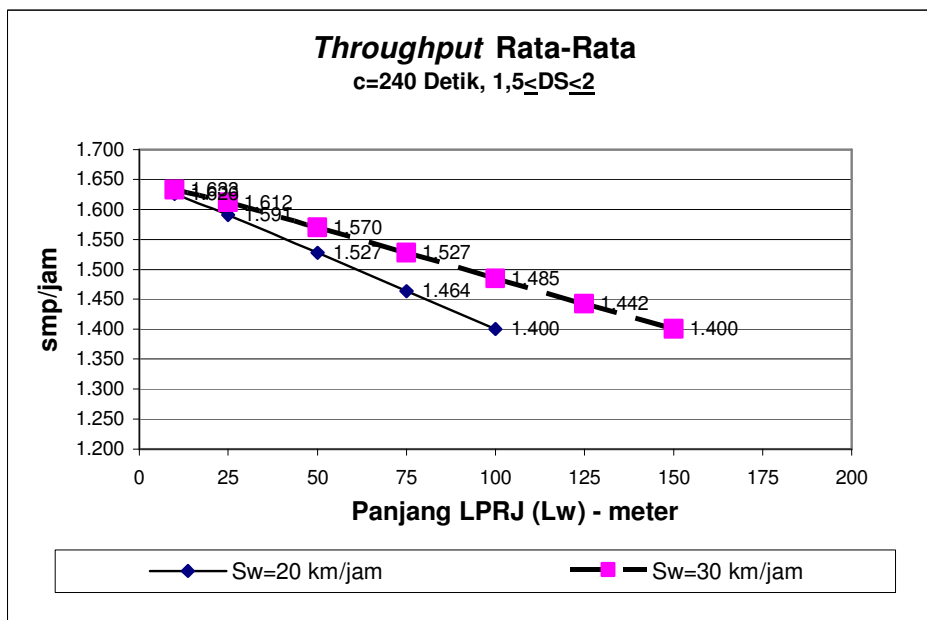
Gambar 5.1. Tundaan Total Pada Periode Pengamatan Kedatangan Kendaraan 240 Detik, Sw=20 km/jam dan c=240 detik



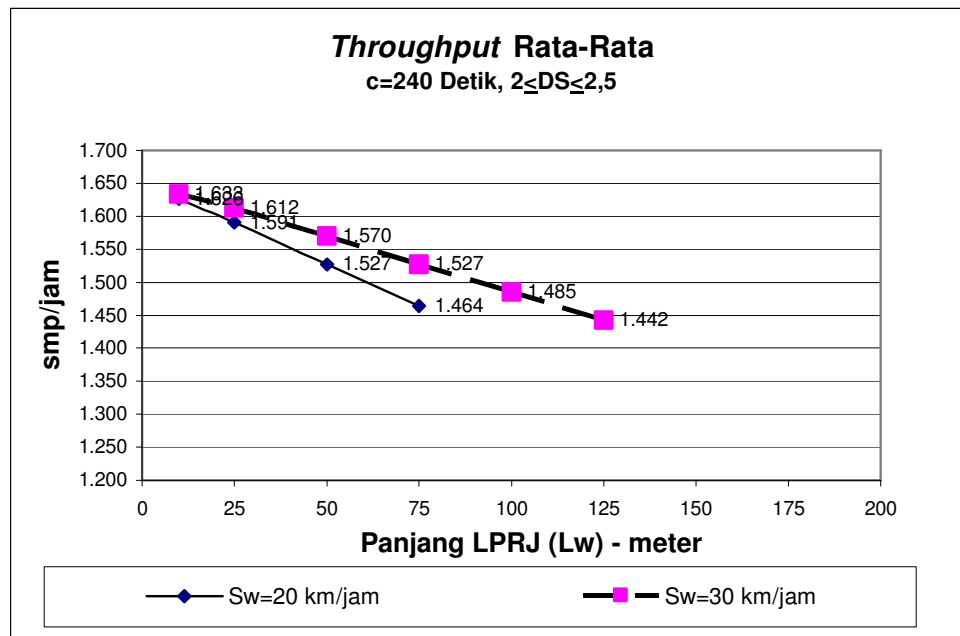
Gambar 5.2. Tundaan Total Pada Periode pengamatan kedatangan kendaraan 240 Detik, Sw=30 km/jam dan c=240 detik



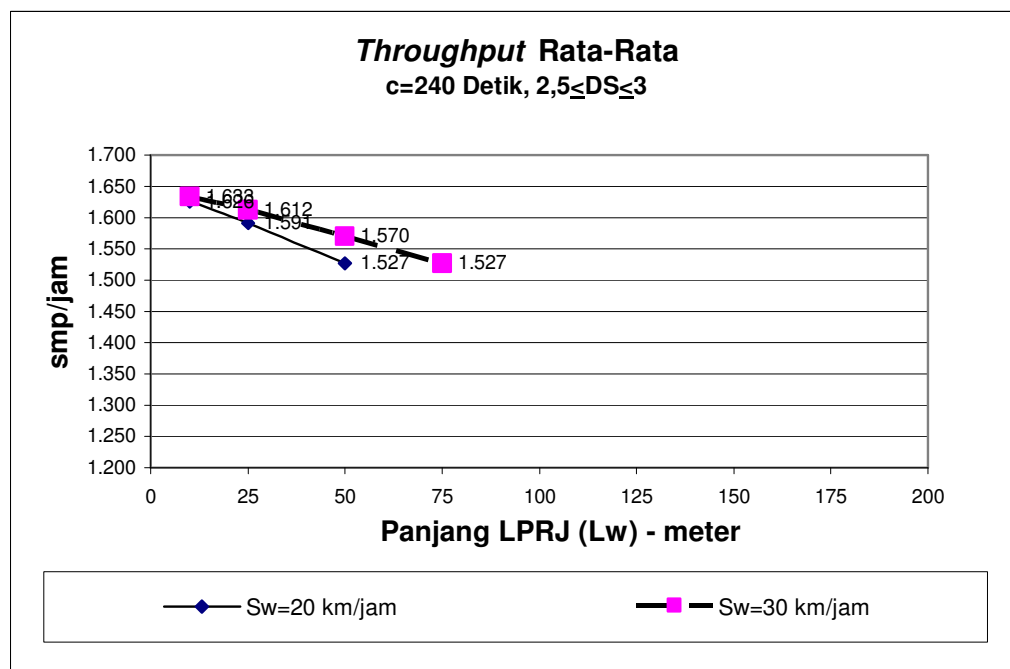
Gambar 5.3. Throughput Rata-rata Pada $1 \leq DS \leq 1,5$, Periode pengamatan kedatangan kendaraan 240 Detik dan $c=240$ detik



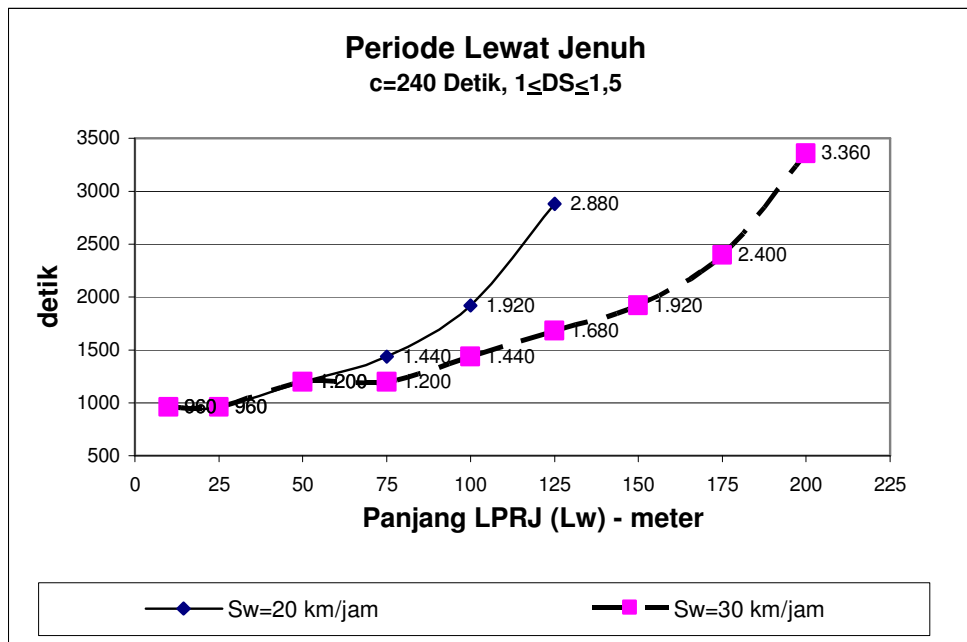
Gambar 5.4. Throughput Rata-rata Pada $1,5 \leq DS \leq 2$, Periode pengamatan kedatangan kendaraan 240 Detik dan $c=240$ detik



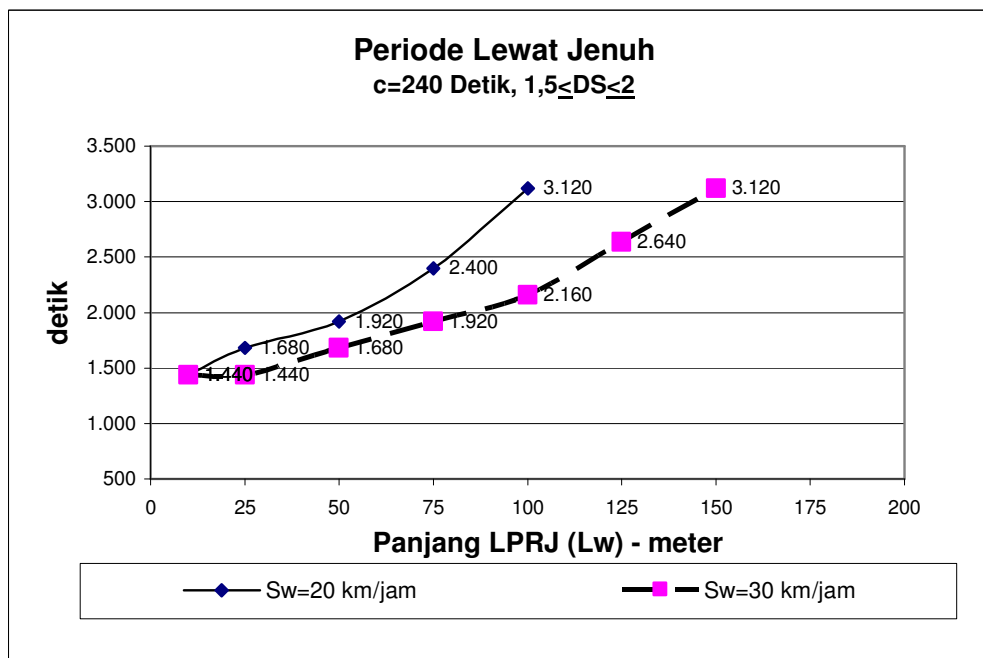
Gambar 5.5. Throughput Rata-rata Pada $2 \leq DS \leq 2,5$, Periode pengamatan kedatangan kendaraan 240 Detik dan $c=240$ detik



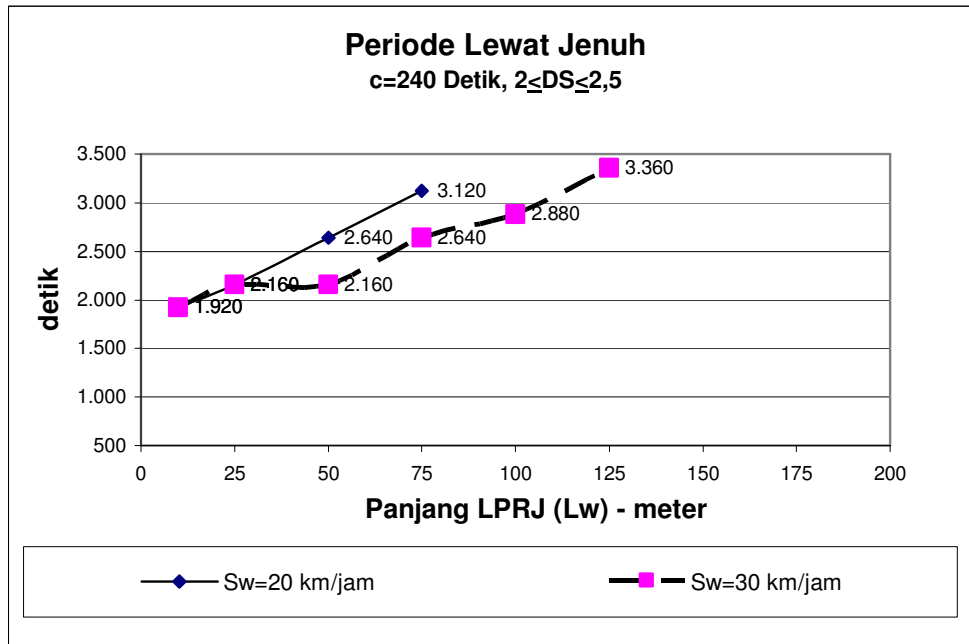
Gambar 5.6. Throughput Rata-rata Pada $2,5 \leq DS \leq 3$, Periode pengamatan kedatangan kendaraan 240 Detik dan $c=240$ detik



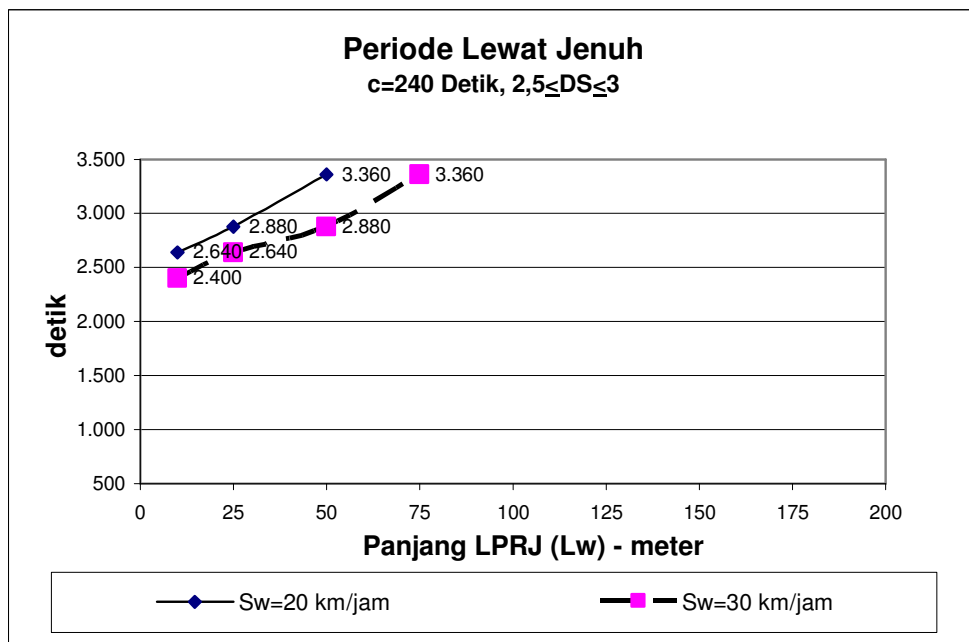
Gambar 5.7. Periode Lewat Jenuh Pada $1 \leq DS \leq 1,5$, Periode pengamatan kedatangan kendaraan 240 Detik dan $c=240$ detik



Gambar 5.8. Periode Lewat Jenuh Pada $1,5 \leq DS \leq 2$, Periode pengamatan kedatangan kendaraan 240 Detik dan $c=240$ detik



Gambar 5.9. Periode Lewat Jenuh Pada $2 \leq DS \leq 2,5$, Periode pengamatan kedatangan kendaraan 240 Detik dan $c=240$ detik



Gambar 5.10. Periode Lewat Jenuh Pada $2,5 \leq DS \leq 3$, Periode pengamatan kedatangan kendaraan 240 Detik dan $c=240$ detik

5.3. Model Matematis Kinerja Kontrol Lalu Lintas Bersinyal Pada LPRJ

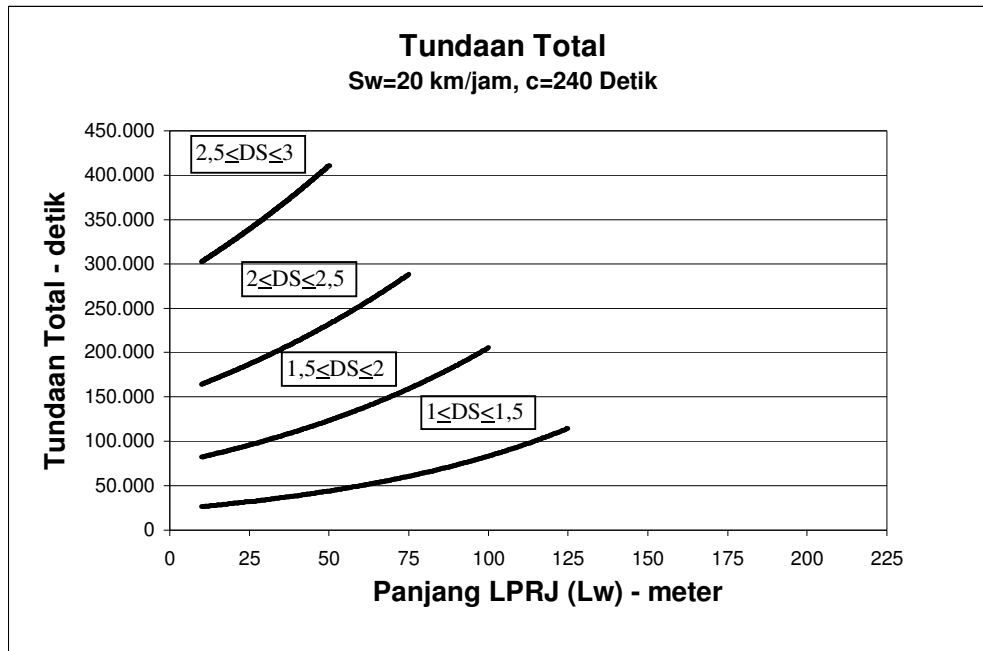
5.3.1. Hubungan Tundaan Total Dengan Panjang LPRJ

Pendekatan persamaan hubungan tundaan total dengan LPRJ dengan panjang LPRJ merupakan persamaan eksponensial dengan kecenderungan semakin panjang LPRJ, semakin besar tundaan total yang akan terjadi. Persamaan tundaan total dengan panjang LPRJ menurut DS dan Swnya disajikan pada Tabel 5.6. Tabel 5.6 juga menunjukkan besaran L_w yang dapat diakomodasi pada DS dan Sw tertentu. Berdasarkan persamaan pada Tabel 5.12 dibuat nomogram tundaan total menurut panjang LPRJ dan DS pada periode pengamatan 240 detik dan waktu siklus 240 detik untuk $Sw=20$ km/jam dan $Sw=30$ km/jam yang disajikan pada Gambar 5.11 dan Gambar 5.12.

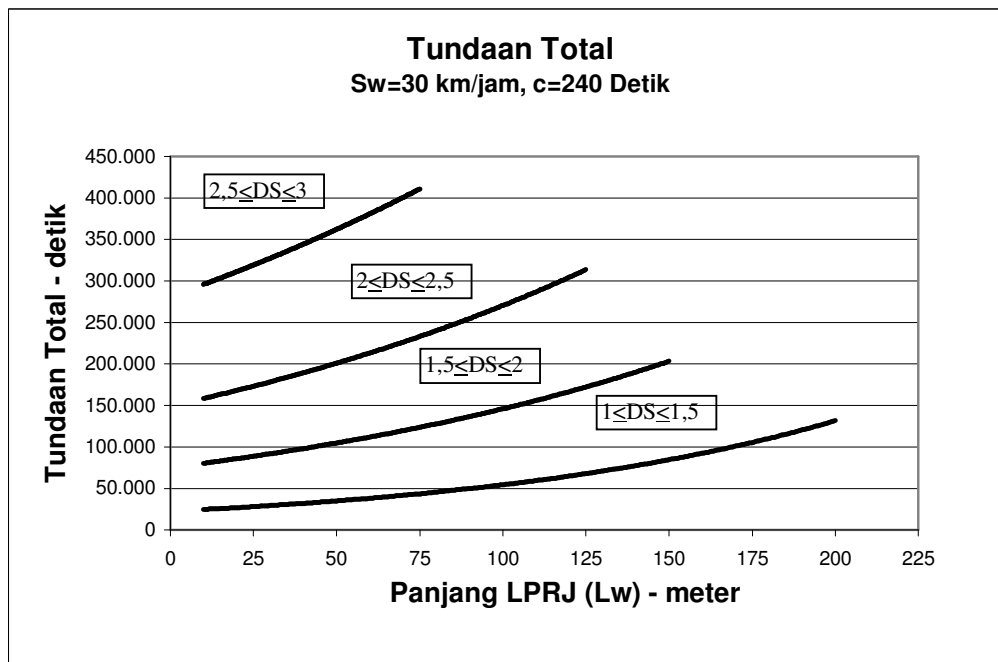
Tabel 5.6. Persamaan antara Tundaan Total Dengan Panjang LPRJ pada Periode Pengamatan 240 Detik dan $c=240$ Detik

DS	Sw (km/jam)	Persamaan	Batas L_w yang dapat dilayani (meter)
$1 \leq DS \leq 1,5$	20	$y = 23286e^{0.0128x}$	$0 \leq L_w \leq 125$
	30	$y = 22567 e^{0.0088 x}$	$0 \leq L_w \leq 200$
$1,5 \leq DS \leq 2$	20	$y = 74325e^{0.0102x}$	$0 \leq L_w \leq 100$
	30	$y = 75281e^{0.0066x}$	$0 \leq L_w \leq 150$
$2 \leq DS \leq 2,5$	20	$y = 150682e^{0.0068x}$	$0 \leq L_w \leq 75$
	30	$y = 14937 e^{0.0059 x}$	$0 \leq L_w \leq 125$
$2,5 \leq DS \leq 3$	20	$y = 280113 e^{0.0077 x}$	$0 \leq L_w \leq 50$
	30	$y = 281357 e^{0.0051 x}$	$0 \leq L_w \leq 75$

Keterangan : y =tundaan total (detik), x =panjang LPRJ (meter)



Gambar 5.11. Nomogram Tundaan Total Menurut DS Pada Periode Pengamatan Kedatangan Kendaraan 240 Detik, Sw=20 km/jam dan c=240 detik



Gambar 5.12. Nomogram Tundaan Total Menurut DS Pada Periode Pengamatan Kedatangan Kendaraan 240 Detik, Sw=30 km/jam dan c=240 detik

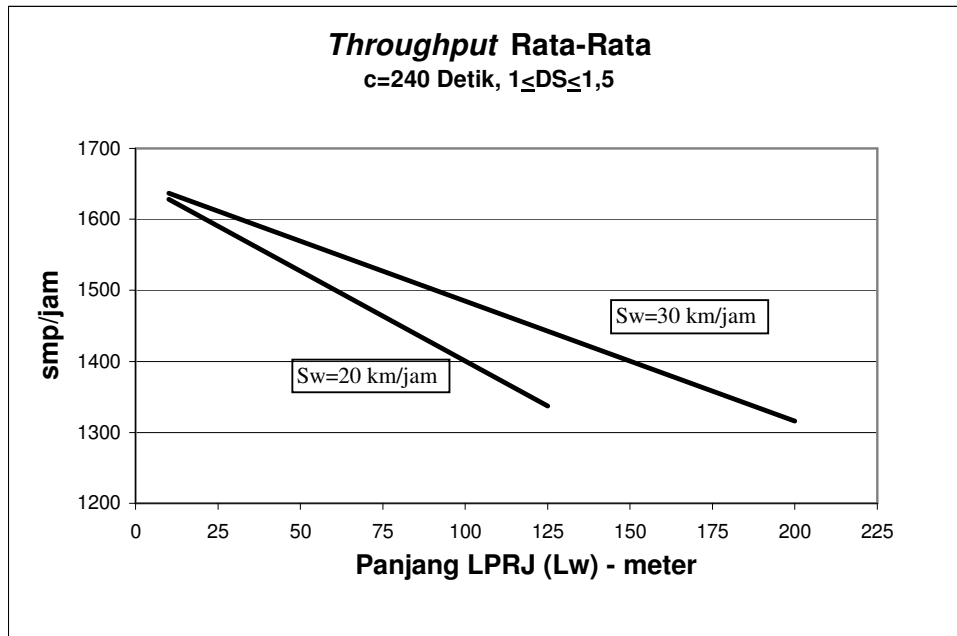
5.3.2. Hubungan *Throughput* Rata-Rata Dengan Panjang LPRJ

Pendekatan persamaan hubungan *throughput* rata-rata dengan panjang LPRJ menunjukkan bahwa persamaan hubungan *throughput* rata-rata dengan panjang LPRJ merupakan persamaan linier dengan kecenderungan semakin panjang LPRJ, semakin kecil *throughput* rata-rata yang akan terjadi. Persamaan hubungan *throughput* rata-rata dengan panjang LPRJ menurut DS dan Sw disajikan pada Tabel 5.7. Seperti pada Tabel 5.6 yang menyajikan hubungan tundaan total dengan panjang LPRJ, Tabel 5.7 juga menunjukkan besaran Lw yang dapat diakomodasi pada DS dan Sw tertentu. Berdasarkan persamaan pada Tabel 5.7 dibuat nomogram *throughput* rata-rata menurut panjang LPRJ dan DS pada periode pengamatan 240 detik dan waktu siklus 240 detik. Nomogram *throughput* rata-rata dengan panjang LPRJ untuk berbagai nilai DS disajikan pada Gambar 5.13 sampai Gambar 5.16.

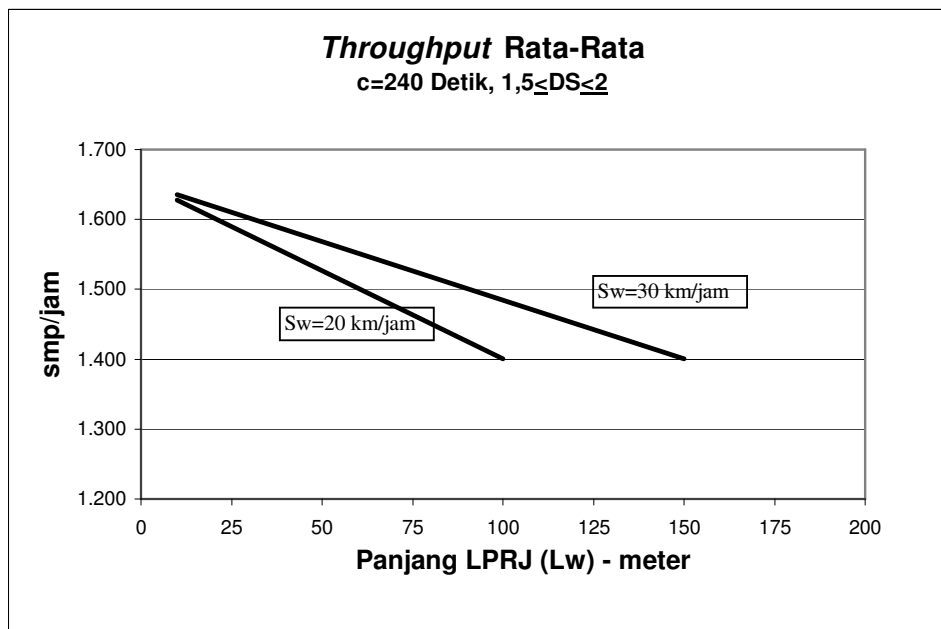
Tabel 5.7. Persamaan antara *Throughput* Rata-rata Dengan Panjang LPRJ pada Periode Pengamatan 240 Detik dan $c=240$ Detik

DS	Sw (km/jam)	persamaan	Batas Lw yang dapat dilayani (meter)
$1 \leq DS \leq 1,5$	20	$y = -2,5298x + 1653,1$	$0 \leq Lw \leq 125$
	30	$y = -1,6861x + 1653$	$0 \leq Lw \leq 200$
$1,5 \leq DS \leq 2$	20	$y = -2,5232x + 1652,9$	$0 \leq Lw \leq 100$
	30	$y = -1,6795x + 16526$	$0 \leq Lw \leq 150$
$2 \leq DS \leq 2,5$	20	$y = -2,5109x + 1652,5$	$0 \leq Lw \leq 75$
	30	$y = -1,6735x + 1652,4$	$0 \leq Lw \leq 125$
$2,5 \leq DS \leq 3$	20	$y = -2,482x + 1651,8$	$0 \leq Lw \leq 50$
	30	$y = -1,6451x + 1651,4$	$0 \leq Lw \leq 75$

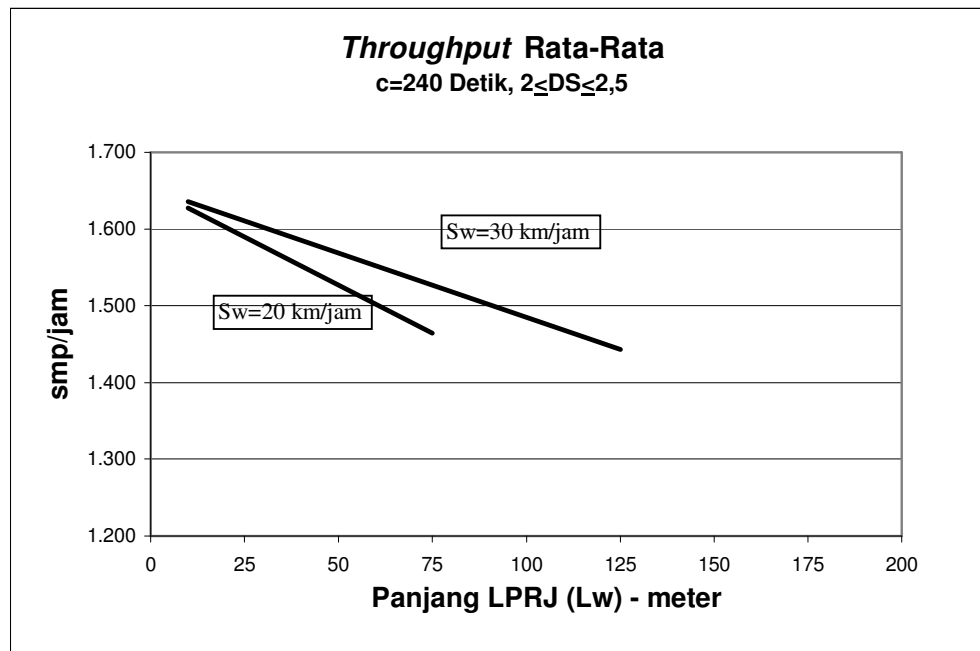
Keterangan : y =*throughput* rata-rata (amp/jam), x =panjang LPRJ (meter)



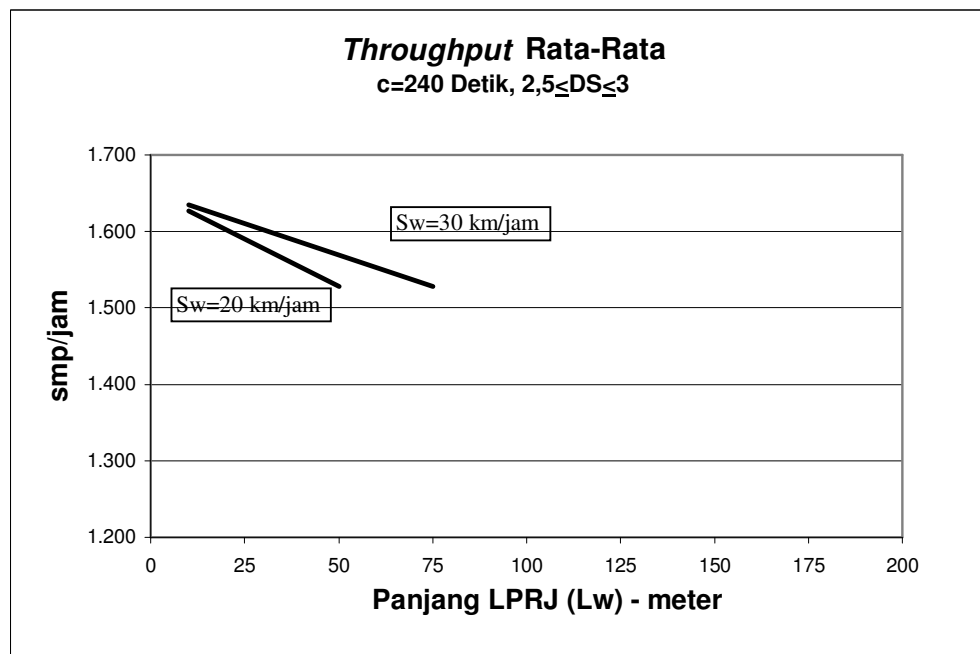
Gambar 5.13. Nomogram Throughput Rata-rata Pada $1 \leq DS \leq 1,5$, Periode pengamatan kedatangan kendaraan 240 Detik dan $c=240$ detik



Gambar 5.14. Nomogram Throughput Rata-rata Pada $1,5 \leq DS \leq 2$, Periode pengamatan kedatangan kendaraan 240 Detik dan $c=240$ detik



Gambar 5.15. Nomogram Throughput Rata-rata Pada $2 \leq DS \leq 2,5$, Periode pengamatan kedatangan kendaraan 240 Detik dan $c=240$ detik



Gambar 5.16. Nomogram Throughput Rata-rata Pada $2,5 \leq DS \leq 3$, Periode pengamatan kedatangan kendaraan 240 Detik dan $c=240$ detik

5.3.3. Periode Lewat Jenuh

Periode lewat jenuh menurut panjang LPRJ, DS dan Swnya berdasarkan periode pengamatan 240 detik dan pemberian waktu siklus 240 detik disajikan pada Tabel 5.8.

Tabel 5.8. Periode Lewat Jenuh Dengan Panjang LPRJ pada Periode Pengamatan 240 Detik dan $c=240$ Detik

DS	Sw	Panjang LPRJ	periode lewat jenuh
	km/jam	meter	detik
$1 \leq DS \leq 1,5$	20	10	960
		25	960
		50	1.200
		75	1.440
		100	1.920
	30	125	2.880
		10	960
		25	960
		50	1.200
		75	1.200
		100	1.440
		125	1.680
		150	1920
		175	2.400
200	1.315		
$1,5 \leq DS \leq 2$	20	10	1.440
		25	1.680
		50	1.920
		75	2.400
		100	3.120
	30	10	1.440
		25	1.440
		50	1.680
		75	1.920
		100	2.160
		125	2.640
		150	3.120
$2 \leq DS \leq 2,5$	20	10	1920
		25	2160
		50	2640
		75	3120
	30	10	1.920
		25	2.160
		50	2.160
		75	2.640
		100	2.880
		125	3.360
$2,5 < DS \leq 3$	20	10	2.640
		25	2.880
		50	3.360
	30	10	2.400
		25	2.640
		50	2.880
		75	3.360

BAB VI

KESIMPULAN DAN SARAN PENELITIAN

6.1. Kesimpulan

1. Diperlukan perubahan waktu hijau pada siklus tertentu untuk dapat menyelesaikan antrian yang tersisa pada kontrol lalu lintas dengan APILL dengan kondisi arus lalu lintas lewat jenuh pada waktu yang sama.
2. Parameter titik perubahan yang dikembangkan yaitu rasio akumulasi kendaraan yang dilepas dan akumulasi kendaraan yang datang (R), memberikan hasil yang efektif dalam menyelesaikan antrian yang tersisa pada kontrol lalu lintas bersinyal pada kondisi arus lalu lintas lewat jenuh pada waktu yang sama.
3. Berdasarkan kinerja tundaan total dan *throughput* rata-rata yang dihasilkan, waktu hijau optimal ditentukan berdasarkan nilai tundaan minimum dengan perubahan waktu hijau terjadi apabila salah satu pendekatan mencapai $R \geq 0,95$.
4. Dengan data arus kedatangan kendaraan yang sama, metode penelitian memberikan perbaikan kinerja bila dibandingkan dengan model Tundaan Diskrit Minimum yaitu perbaikan periode lewat jenuh sebesar 5,88%, *throughput* rata-rata sebesar 1,46% dan tundaan total sebesar 12,8%. Hasil ini lebih tinggi dibandingkan perbaikan kinerja oleh model *Maximum Throughput* terhadap model Tundaan Diskrit Minimum, yaitu memberikan perbaikan periode lewat jenuh sebesar 4,52%, *throughput* rata-rata sebesar 1,16% dan tundaan total sebesar 2,34%.
5. Simulasi metode penelitian dalam perencanaan kontrol lalu lintas dengan APILL di LPRJ pada jalan tipe dua lajur dua arah tak terbagi, dengan asumsi arus kedatangan lewat jenuh terjadi pada 300 detik pertama, memberikan kecenderungan sebagai berikut:
 - Variasi periode pengamatan kedatangan kendaraan menghasilkan kinerja tundaan total yang berbeda, namun menghasilkan *throughput* rata-rata dan periode arus jenuh yang sama.

- Periode pengamatan kedatangan kendaraan optimal yaitu periode pengamatan kendaraan dengan tundaan total terkecil adalah periode pengamatan kedatangan kendaraan 240 detik.
 - Perubahan periode pengamatan kedatangan kendaraan dari 240 detik menjadi periode pengamatan kedatangan kendaraan yang lebih pendek akan menimbulkan peningkatan tundaan total.
 - Waktu siklus 240 detik merupakan waktu siklus optimal dengan tundaan total terkecil, *throughput* rata-rata terbesar dan lama periode arus jenuh terkecil.
 - Perubahan waktu siklus dari 240 detik menjadi waktu siklus yang lebih pendek akan menimbulkan peningkatan tundaan, penurunan total *throughput* rata-rata dan peningkatan lama periode lewat jenuh.
6. Berdasarkan periode pengamatan kedatangan kendaraan optimal sebesar 240 detik, dapat diketahui jarak detektor dari garis henti untuk mengantisipasi kedatangan arus lewat jenuh.
 7. Simulasi kontrol lalu lintas bersinyal di LPRJ pada kondisi arus lewat jenuh menghasilkan besaran panjang LPRJ yang dapat diakomodasi oleh kontrol lalu lintas bersinyal
 8. Simulasi kontrol lalu lintas bersinyal di LPRJ pada kondisi arus lewat jenuh menghasilkan nomogram yang dapat digunakan untuk mengetahui tundaan total dan *throughput* rata-rata yang dihasilkan oleh kontrol lalu lintas bersinyal pada periode pengamatan 240 detik, DS, Sw dan Lw tertentu.
 9. Pada proporsi arus kedatangan 60:40, kontrol lalu lintas bersinyal yang dapat diselesaikan dengan metode penelitian adalah pada $DS \geq 1,86$. Pada $DS \leq 1,86$ yang diwakili oleh $DS=1,44$, terjadi kondisi arus tidak jenuh pada salah satu pendekat (DS pendekat 1 dan 2=0,86 & 0,58) yang berada di luar jangkauan metode penelitian, sehingga tidak didapatkan hasil waktu hijau optimal.
 10. Pada proporsi arus kedatangan 70:30 kontrol lalu lintas bersinyal yang dapat diselesaikan dengan metode penelitian adalah pada $DS \geq 2,76$.

6.2. Saran Penelitian

1. Rekomendasi penempatan detektor untuk mendapatkan data kedatangan kendaraan dengan periode pengamatan 240 detik adalah sebagai berikut:

Jenis Jalan	Kecepatan rata-rata	Jarak detektor dari garis henti
	km/jam	meter
luar kota	60	4000 dan 2000
perkotaan	40	2700 dan 1300
	<30	2000

2. Panjang LPRJ yang dapat diakomodasi oleh kontrol lalu lintas bersinyal pada kondisi arus lewat jenuh berdasarkan besaran derajat kejenuhan total dan kecepatan rata-rata pada LPRJ (S_w) adalah sebagai berikut:

Derajat kejenuhan Total - DS	Kecepatan rata-rata pada LPRJ - S_w (km/jam)	Panjang LPRJ yang dapat dilayani - L_w (meter)
$1 \leq DS \leq 1,5$	20	$0 \leq L_w \leq 125$
	30	$0 \leq L_w \leq 200$
$1,5 \leq DS \leq 2$	20	$0 \leq L_w \leq 100$
	30	$0 \leq L_w \leq 150$
$2 \leq DS \leq 2,5$	20	$0 \leq L_w \leq 75$
	30	$0 \leq L_w \leq 125$
$2,5 \leq DS \leq 3$	20	$0 \leq L_w \leq 50$
	30	$0 \leq L_w \leq 75$

3. Pada periode pengamatan optimal 240 detik dan waktu siklus optimal 240 detik, dapat diperkirakan besar tundaan melalui persamaan-persamaan berikut:

DS	S_w (km/jam)	Persamaan	Batas L_w yang dapat dilayani (meter)
$1 \leq DS \leq 1,5$	20	$y = 23286 e^{0.0128 x}$	$0 \leq L_w \leq 125$
	30	$y = 22567 e^{0.0088 x}$	$0 \leq L_w \leq 200$
$1,5 \leq DS \leq 2$	20	$y = 74325 e^{0.0102 x}$	$0 \leq L_w \leq 100$
	30	$y = 75281 e^{0.0066 x}$	$0 \leq L_w \leq 150$
$2 \leq DS \leq 2,5$	20	$y = 150682 e^{0.0068 x}$	$0 \leq L_w \leq 75$
	30	$y = 14937 e^{0.0059 x}$	$0 \leq L_w \leq 125$
$2,5 \leq DS \leq 3$	20	$y = 280113 e^{0.0077 x}$	$0 \leq L_w \leq 50$
	30	$y = 281357 e^{0.0051 x}$	$0 \leq L_w \leq 75$

Keterangan : y =tundaan total (detik), x =panjang LPRJ (meter)

4. Pada periode pengamatan optimal 240 detik dan waktu siklus optimal 240 detik, dapat diperkirakan besar *throughput* rata-rata melalui persamaan-persamaan berikut:

DS	Sw (km/jam)	persamaan	Batas Lw yang dapat dilayani (meter)
$1 \leq DS \leq 1,5$	20	$y = -2,5298x + 1653,1$	$0 \leq Lw \leq 125$
	30	$y = -1,6861x + 1653$	$0 \leq Lw \leq 200$
$1,5 \leq DS \leq 2$	20	$y = -2,5232x + 1652,9$	$0 \leq Lw \leq 100$
	30	$y = -1,6795x + 1652,6$	$0 \leq Lw \leq 150$
$2 \leq DS \leq 2,5$	20	$y = -2,5109x + 1652,5$	$0 \leq Lw \leq 75$
	30	$y = -1,6735x + 1652,4$	$0 \leq Lw \leq 125$
$2,5 \leq DS \leq 3$	20	$y = -2,482x + 1651,8$	$0 \leq Lw \leq 50$
	30	$y = -1,6451x + 1651,4$	$0 \leq Lw \leq 75$

Keterangan : $y = \text{throughput rata-rata (amp/jam)}$, $x = \text{panjang LPRJ (meter)}$

5. Periode lewat jenuh menurut panjang LPRJ, DS dan Swnya berdasarkan periode pengamatan 240 detik dan pemberian waktu siklus 240 detik adalah sebagai berikut:

DS	Sw	Panjang LPRJ	periode lewat jenuh		
	km/jam	meter	detik		
$1 \leq DS \leq 1,5$	20	10	960		
		25	960		
		50	1.200		
		75	1.440		
		100	1.920		
		125	2.880		
	30	10	960		
		25	960		
		50	1.200		
		75	1.200		
		100	1.440		
		125	1.680		
		150	1920		
		175	2.400		
200	1.315				
$1,5 \leq DS \leq 2$	20	10	1.440		
		25	1.680		
		50	1.920		
		75	2.400		
		100	3.120		
	30	10	1.440		
		25	1.440		
		50	1.680		
		75	1.920		
		100	2.160		
		125	2.640		
		150	3.120		
		$2 \leq DS \leq 2,5$	20	10	1920
				25	2160
50	2640				
75	3120				
30	10		1.920		
	25		2.160		
	50		2.160		
	75		2.640		
$2,5 < DS \leq 3$	20	100	2.880		
		125	3.360		
		150	3.360		
	30	10	2.640		
		25	2.880		
		50	3.360		
		10	2.400		
		25	2.640		
		50	2.880		
		75	3.360		

DAFTAR PUSTAKA

- A Ceder and I Reshetnik, (2001), *An algorithm to minimize queues at signalized intersections*, Journal of the Operational Research Society 52, 615-622
- A Policy on Geometric Design of Highways and Streets*, (1990), American Association of State Highways and Transportation Officials.
- Afshar N & Azadivar F, (1992), *A Simulation Study Of Traffic Control Procedures At Highway Work Zones*, Proceedings of the 1992 Winter Simulation Conference
- Ahmed Al-Kaisy and Eric Kerestes (2006), *Evaluation of The Effectiveness of Single-Lane Two-Way Traffic Control At Maintenance And Reconstruction Zones*, Canadian Journal of Civil Engineering; Sep 2006; 33, 9; ProQuest Science Journals pg. 1217
- Ahmed Al-Kaisy and Fred Hall (2003), *Guidelines for Estimating Capacity at Freeway Reconstruction Zones*, , Journal of Transportation Engineering, Vol. 129, No. 5, September 1, 2003. ©ASCE, ISSN 0733-947X/2003/5-572-577
- Akcelik, R. (1981), *Traffic Signals: Capacity And Timing Analysis*, Research Report ARR No. 123, Australian Road Research Board, Melbourne: 12-22.
- Akcelik, R. (2000), *AaSIDRA User Guide*. Victoria: Akcelik & Associates Pty. Ltd.
- Azhar Al-Mudhaffar, (2006), *Impacts of Traffic Signal Control Strategies*, Doctoral Thesis, Dept. Of Transport and Economics, School of Architecture Built Environment, and Royal Institute of Technology (KTH), Stockholm, Swedenn.
- Bonneson J.A, Middleton D, Zimmerman K, Charara H, Abbas M, (2002), *Intelligent Detection-Control System For Rural Signalized Intersections*, TTI 4022-2.
- Bonneson James A., P.E. and Sangsoo Lee, (2000), *Actuated Controller Settings For The Diamond Interchange With Three-Phase Operation*, Texas Transportation Institute

- Bonneson, J.A., (1994), *Manual of Traffic Detector Design*. Civil Engineering Department, University of Nebraska, Lincoln, Nebraska.
- Bonneson, J.A., P.T. McCoy, and B.A. Moen, (1994) *Traffic Detector Design and Evaluation Guidelines*. Report No. TRP-02-31-93. Nebraska Dept. of Roads, Lincoln, Nebraska.
- Carl Shaflik, PEng (1995), *Traffic Signal Detector Locations Proper Positioning Increases Efficiency & Safety*, Department of Civil Engineering, University of British Columbia
- Chang TH and Lin JT (2000), *Optimal Signal Timing For An Oversaturated Intersection*. *Journal of Transportation*, Res 34B: 471–491.
- Chien S and Chowdhury S, (2000), *Simulation-Based Estimates of Delay at Freeway Work Zones*, 80th Annual Meeting, Transportation Research Board.
- Chien S and Schonfeld, (2001), *Optimal Work Zone Lengths for Four Lane Highways*, *Journal of Transportation Engineering*, Vol.127, No.2, March/April,2001.
- Daniels Ginger et al, (2000), *Feasibility of Portable Traffic Signals to Replace Flaggers in Maintenance Operation*, Texas Transportation Institute.
- Daniels Ginger et al, (2000), *Guidelines For The Use Of Portable Traffic Signals In Rural Two-Lane Maintenance Operations*, Texas Transportation Institute.
- Departemen Pekerjaan Umum (1997), *Manual Kapasitas Jalan Indonesia*, Jakarta.
- Department for Transport, Local Government and the Regions, (2002), *Code of Practice - Safety At Street Works And Road Works*, The National Assembly for Wales
- Gazis, D.C., (1964), *Optimal control of a system of oversaturated intersections*, *Operations Research* 12, 815-831.
- Green, D.H., (1966), *The Simulation of Some Simple Control Policies for a Signalized Intersection*, *Operational Research* Vol. 17, No. 3 (Sep., 1966), pp. 263-277
- Green, D.H., (1968), *Control of Oversaturated Intersections*, *Operational Research Quarterly* 18 (2), 161-173.
- Hong Li and Panos D. Prevedouros, (2004), *Traffic Adaptive Control for Oversaturated Isolated Intersections: Model Development and Simulation*

- Testing*, Journal of Transportation Engineering, Vol. 130, No. 5, September 1, 2004. ©ASCE, ISSN 0733-947X/2004/5-1-8
- Kell, J.H., and I.J. Fullerton. (1982), *Manual of Traffic Signal Design*. Prentice-Hall, Englewood Cliffs, New Jersey.
- Kim Taehyung et al, (2001), *A New Methodology to Estimate Capacity for Freeway Workzones*, 2001 TRB Annual Meeting, Washington DC.
- Kuhne R and Michalopoulos P, *Continuum Flow Models*, University of Minnesota Institute of Technology, Minneapolis.
- Leong Lee Vien, Wan Hashim Wan Ibrahim and Ahmad Farhan Mohd Sadullah, (2005), *Determination of Ideal Saturation Flow at Signalized Intersections under Malaysian Road Conditions*, Journal of Transportation Science Society of Malaysia 1, 26-37
- Liu et al, (2001), *On Line Traffic Signal Control Scheme with Real Time Delay Estimation Technology*, University of California Irvine.
- Liu et al, (2002), *Adaptive Signal Control System with On-line Performance Measure for Single Intersection*, California PATH Working Paper UCB-ITS-PWP-2002-5
- Martinelly D R and Xu Danqing, (1996), *Delay Estimation and Optimal Length for Four Lane Divided Freeway Workzones*, Journal of Transportation Engineering, Vol.127, No.2, March/April, 1996.
- May A.D, (1990), *Traffic Flow Fundamentals*, Prentice Hall, Englewood Cliffs, New Jersey.
- Menendez M & Daganzo C, (2003), *Assessment of the Impact of Incidents Near Bottlenecks*, Strategies to Reduce Delay, Transportation Research Board.
- Michalopoulos PG, and Stephanopoulos G (1977), *Oversaturated signal systems with queue length constraints - I: Single intersection*, Transportation Research Vol. 11: 413-421.
- Michalopoulos PG, and Stephanopoulos G (1977), *Oversaturated signal systems with queue length constraints - II: Single intersection*, Transportation Research Vol. 11: 423-428.
- Middleton, D., R. L. Nowlin, M. Shafer, A. H. Parham, and D. Jasek. (1997), *Evaluation of Detector Placement for High-Speed Approaches to Signalized*

- Intersections*, Report No. TX-98/3977-1. Texas Department of Transportation, Austin, Texas, September.
- P.Mirchandani, L Head, (2001), *A Real Time Traffic Control System: Architecture, Algorithm & Analysis*, Transportation Research Part C 9, pp 415-432.
- Rakha and Mohamadreza Farzaneh, (2006), *Issues and Solutions to Macroscopic Traffic Dispersion Modeling*, Journal of Transportation Engineering, Vol. 132, No. 7, July 1, 2006. ©ASCE, ISSN 0733-947X/2006/7-555–564
- Road Research Laboratory. 1963. *A Method for Measuring Saturation Flow at Traffic Signals*. Department of Scientific and Industrial Research, Road Note 34/196. HMSO, London: 1–13.
- Rodegerdts Lee A., (2004), *Signalized Intersections: Informational Guide*, FHWA-HRT-04-091, Federal Highway Administration
- Salter R J, (1988), *Highway Traffic Analysis and Design*, London, Macmillan Education Ltd.
- Schonfeld and Chien S, (1999), *Optimal Work Zone Lengths for Two Lane Highways*, *Journal of Transportation Engineering*, Vol. 125, No. 1, January/February, 1999. ASCE, ISSN 0733-947X/99/0001-0021–0029. Paper No. 15188.
- Shantanu Das and David Levinson, (2004), *Queuing and Statistical Analysis of Freeway Bottleneck Formation*, Journal of Transportation Engineering, Vol. 130, No. 6, November 1, 2004. ©ASCE, ISSN 0733-947X/2004/6-787–795
- Sheu J B, (2003), *A Stochastic Modeling Approach To Real-Time Prediction Of Queue Overflows*, *Transportation Science*; Feb 2003; 37, 1; ABI/INFORM Global pg. 97
- Skszek S L, (2001), “*State of Art*” *Report on Non Traditional Traffic Counting Methods*, Arizona department of Transportation.
- Starlog, (1992), *Pneumatic Road Traffic Controller*, User Manual Supplement.
- Talmor I and Mahalel D, (2007), *Signal Design For An Isolated Intersection During Congestion*, *Journal of the Operational Research Society* 58, 454–466.
- Texas Manual on Uniform Traffic Control Devices*. Texas Department of Transportation, Austin, Texas, 1980 (Revision 6, January 1996).

- Tian Zhili, (2002), *Capacity Analysis of Traffic Actuated Intersection*, Thesis, Department of Civil and Environmental Engineering, Massachusetts Institute of Technology.
- Tian Zong & Tom Urbanik, (2006), *Green Extension And Traffic Detection Schemes At Signalized Intersections*, the 85th TRB Annual Meeting.
- Traffic Engineering Handbook, Fourth Edition*. (1992), Institute of Transportation Engineers, Prentice Hall.
- Transportation Research Board, (2000), *Highway Capacity Manual*, National Research Council, Washington, D.C.
- United States Department of Transportation (1988), *Manual on Uniform Traffic Control Devices*, Federal Highway Administration.
- University Of Utah Department Of Civil And Environmental Engineering, (2003), *Traffic Detector Selection Procedure*, Report No. UT-03.30,2003
- US Department of Transportation (1989), *Workzone Traffic Management Synthesis: Work Zone Pedestrian Protection*, Publication No. FHWA-TS-89-035, Federal Highway Administration
- Webster, F.V. & Cobbe, B.M. (1966) *Traffic Signals*. Road Research Technical Paper No. 56. London: HMSO.
- Widjajanti E (2006), *Pengaruh Penyempitan Ruas Jalan Akibat Kegiatan Konstruksi Pada Badan Jalan Terhadap Kinerja Lalu Lintas*, Simposium IX FSTPT, Universitas Brawijaya-Malang, Indonesia
- Widjajanti E et al (2006), *Pengaturan Lalu Lintas Pada Ruas Jalan Dua Ljur Dua Arah Yang Mengalami Penyempitan Akibat Pekerjaan di Jalan*, Konferensi Regional Teknik Jalan ke-9 Wilayah Timur, Makasar.
- Widjajanti E et al (2007), *Traffic Control on Two Way Two Lane Roads Work Zones: A Case Study In Indonesia*, Proceedings of the Eastern Asia Society for Transportation Studies, Vol.6, 2007
- Widjajanti E et al (2008), *Optimum Adaptive Traffic Control on Saturated Two Way Two Lane Roads Work Zones*, Simposium XI FSTPT, Diponegoro University-Semarang, Indonesia

Contoh Program Matlab**Program Matlab Untuk Periode Pengamatan 240 detik, Split Arus 50 :50, DS=2,76**

```

1  clc;clear;
2  %input data5
3  %period=input('Time Period : ');
4  period=240;
5  %data1=input(['Data fase 1 : ']);
6  %data2=input(['Data fase 2 : ']);
7  data1=[156 225 265 305 345 385 425 465 505 545 585 625 665 705 745];
8  data2=[156 225 265 305 345 385 425 465 505 545 585 625 665 705 745];
9  cekrat=0.95;
10
11 %input table
    %column item: volume1 volume2 volume1/period volume2/period h1(sec) h2(sec) sd1
12 sd2
13 data=[data1' data2'];
14 for i=1:length(data1)
15     if i==1
16         data(i,3)=data1(i);
17         data(i,4)=data2(i);
18     else data(i,3)=data(i,1)-data(i-1,1);
19         data(i,4)=data(i,2)-data(i-1,2);
20     End
21     data(i,5)=period/data(i,3);
22     data(i,6)=period/data(i,4);
23     data(i,7)=3600/data(i,5);
24     data(i,8)=3600/data(i,6);
25 end
26
27 s=[1697 1697];
28 fase=2;
29 C=input('Cycle time : ');
30 lengthWZ=input('Length of work zone: ');
31 speed=input('Speed at work zone: ');
32 red=ceil(6+lengthWZ*2/speed*3600/1000);
33 G1(1)=ceil(C/4);
34 G1(2)=C-G1(1)-red;

```

```

35 G{1}=G1;
36 G{2}=G1;
37 iter=100;
38 Tdelay=1000000;
39
40 %table result
41
42 for az=G1(1):G1(2)
43     j=1;
44     %first row till
45     for i=1:2
46         result{i}(j,1)=j;
47         result{i}(j,2)=j*C;
48         %cummulative arrival
49         if C<=period
50             result{i}(j,3)=C/period*data(1,i);
51         else result{i}(j,3)=data(1,i)+(C-period)/period*data(2,i);
52         end
53         %vehicle discharge
54         result{i}(j,4)=s(i)/3600*G{1}(i);
55         result{i}(j,5)=result{i}(j,3)-result{i}(j,4);
56         %cummulative discharge
57         result{i}(j,6)=result{i}(j,3)-result{i}(j,5);
58         %ratio queue length
59         result{i}(j,7)=result{i}(j,6)/result{i}(j,3);
60         %delay per vehicle
61         result{i}(j,8)=1/result{i}(j,3)*result{i}(j,5)*C;
62         %total delay
63         result{i}(j,9)=result{i}(j,5)*C/2;
64         %throughput
65         result{i}(j,10)=result{i}(j,4)*3600/C;
66     end
67     %next rows same green time
68     if (result{1}(j,7)>1|result{2}(j,7)>1)
69         G{1}(1)=G{1}(1)+1;
70         G{1}(2)=G{1}(2)-1;
71         %continue
72     else

```

```

73     j=j+1;
74     while result{1}(j-1,7)<cekrat&result{2}(j-1,7)<cekrat
75         for i=1:2
76             result{i}(j,1)=j;
77             result{i}(j,2)=j*C;
78             %cummulative arrival
79             if period>=result{i}(j,2)
80                 result{i}(j,3)=(result{i}(j,2)/period)*data(1,2+i);
81             else
82                 for k=1:length(data1)
83                     if k*period>=result{i}(j,2)
84                         result{i}(j,3)=data(k-1,i)+((result{i}(j,2)-(k-
85                         1)*period)/period)*data(k,2+i);
86                     break
87                 end
88             end
89             %vehicle discharge
90             result{i}(j,4)=s(i)/3600*G{1}(i);
91             result{i}(j,5)=result{i}(j,3)-result{i}(j-1,3)+result{i}(j-1,5)-result{i}(j,4);
92             %cummulative discharge
93             result{i}(j,6)=result{i}(j,3)-result{i}(j,5);
94             %ratio queue length
95             result{i}(j,7)=result{i}(j,6)/result{i}(j,3);
96             %delay per vehicle
97             result{i}(j,8)=1/(result{i}(j,3)-result{i}(j-1,3))*result{i}(j,5)*C;
98             %total delay
99             result{i}(j,9)=(result{i}(j,5)+result{i}(j-1,5))*C/2;
100            %throughput
101            result{i}(j,10)=result{i}(j,4)*3600/C;
102        end
103        j=j+1;
104    end
105    fprintf('1\t%f\t%f\t%f\t%f\n',j-1,G{1}(1),result{1}(j-1,5),result{1}(j-1,7));
106    fprintf('1\t%f\t%f\t%f\t%f\n',j-1,G{1}(2),result{2}(j-1,5),result{2}(j-1,7));
107    end
108    if result{1}(j-1,3)==0|result{2}(j-1,3)==0
109
110    else

```

```

111
112     %next rows with new green time
113     if result{1}(j-1,7)<=1&result{2}(j-1,7)<=1
114     if result{1}(j-1,7)>=cekrat&result{2}(j-1,7)>=cekrat
115         G{2}=G1;
116         a=j;
117         for z=G1(1):G1(2)
118             j=a;
119             while (result{1}(j-1,5)>=0 | result{2}(j-1,5)>=0)&(result{1}(j-
120 1,7)<=1&result{2}(j-1,7)<=1)
121                 for i=1:2
122                     result{i}(j,1)=j;
123                     result{i}(j,2)=j*C;
124                     %cummulative arrival
125                     if period>=result{i}(j,2)
126                         result{i}(j,3)=(result{i}(j,2)/period)*data(1,2+i);
127                     else
128                         for k=1:length(data1)
129                             if k*period>=result{i}(j,2)
130                                 result{i}(j,3)=data(k-1,i)+((result{i}(j,2)-(k-
131 1)*period)/period)*data(k,2+i);
132                             break
133                         end
134                     end
135                     %vehicle discharge
136                     result{i}(j,4)=s(i)/3600*G{2}(i);
137                     result{i}(j,5)=result{i}(j,3)-result{i}(j-1,3)+result{i}(j-1,5)-
138 result{i}(j,4);
139                     %cummulative discharge
140                     result{i}(j,6)=result{i}(j,3)-result{i}(j,5);
141                     %ratio queue length
142                     result{i}(j,7)=result{i}(j,6)/result{i}(j,3);
143                     %delay per vehicle
144                     result{i}(j,8)=1/(result{i}(j,3)-result{i}(j-1,3))*result{i}(j,5)*C;
145                     %total delay
146                     result{i}(j,9)=(result{i}(j,5)+result{i}(j-1,5))*C/2;
147                     %througput
148                     result{i}(j,10)=result{i}(j,4)*3600/C;

```

```

147         end
148         j=j+1;
149     end
150     if result{1}(j-1,5)<=0 &result{1}(j-2,5)>=0&(result{2}(j-
151     1,5)<=0)&result{2}(j-2,5)>=0
152         break
153     end
154     G{2}(1)=G{2}(1)+1;
155     G{2}(2)=G{2}(2)-1;
156 end
157 end
158
159 result{1}(j,8)=0;
160 result{2}(j,8)=0;
161 result{1}(j,9)=0;
162 result{2}(j,9)=0;
163 result{1}(j,10)=0;
164 result{2}(j,10)=0;
165 for h=1:j-1
166     for i=1:2
167         result{i}(j,8)=result{i}(j,8)+result{i}(h,8);
168         result{i}(j,9)=result{i}(j,9)+result{i}(h,9);
169         result{i}(j,10)=result{i}(j,10)+result{i}(h,10);
170     end
171 end
172 for i=1:2
173     result{i}(j,8)=result{i}(j,8)/h;
174     result{i}(j,10)=result{i}(j,10)/h;
175 end
176
177 if result{1}(j-1,5)<=0 &result{1}(j-2,5)>=0
178     if result{2}(j-1,5)<=0&result{2}(j-2,5)>=0
179         if result{1}(j-1,1)<=iter
180             if (result{1}(j,9)+result{2}(j,9))<=Tdelay
181                 opt_result=result;
182                 Gopt=G;
183                 iter=j-1;
184                 Tdelay=result{1}(j,9)+result{2}(j,9);

```

```

185         end
186     end
187 end
188 end
189 end
190 G{1}(1)=G{1}(1)+1;
191 G{1}(2)=G{1}(2)-1;
192     fprintf('2\t%f\t%f\t%f\t%f\t%f\n',j-1,G{2}(1),result{1}(j-1,5),result{1}(j-
193 1,7),result{1}(j,9), result{1}(j,10));
194     fprintf('2\t%f\t%f\t%f\t%f\t%f\n',j-1,G{2}(2),result{2}(j-1,5),result{2}(j-
195 1,7),result{2}(j,9), result{2}(j,10));
196 end
197
198 fprintf('\nResult phase 1\n');
199 for pr=1:iter+1
200     fprintf('%f\t%f\t%f\t%f\t%f\t%f\t%f\t%f\t%f\t%f\n',opt_result{1}(pr,1),opt_result{1}
201 (pr,2),opt_result{1}(pr,3),opt_result{1}(pr,4),opt_result{1}(pr,5),opt_result{1}(pr,6),o
202 pt_result{1}(pr,7),opt_result{1}(pr,8),opt_result{1}(pr,9),opt_result{1}(pr,10));
203 end
204
205 fprintf('\nResult phase 2\n');
206 for pr=1:iter+1
207     fprintf('%f\t%f\t%f\t%f\t%f\t%f\t%f\t%f\t%f\t%f\n',opt_result{2}(pr,1),opt_result{2}
208 (pr,2),opt_result{2}(pr,3),opt_result{2}(pr,4),opt_result{2}(pr,5),opt_result{2}(pr,6),o
209 pt_result{2}(pr,7),opt_result{2}(pr,8),opt_result{2}(pr,9),opt_result{2}(pr,10));
210 end
211
212 fprintf('\nG before switch\n');
213 for pr=1:2
214     fprintf('%f\t',Gopt{1}(pr));
215 end
216
217 fprintf('\nG after switch\n');
218 for pr=1:2
219     fprintf('%f\t',Gopt{2}(pr));
220 end

```

Contoh Hasil Simulasi

Tabel L2-1. 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

R = 0,95

Cycle time : 150

1	6	37.5	180.5	0.326493		
1	6	112.5	4.5	0.976563		
2	16	98.5	-8.555556	1.018519	240483.3333	705.833333
2	16	51.5	-0.555556	1.001684	26283.33333	495.833333
1	6	38.5	178.16667	0.335199		
1	6	111.5	6.166667	0.967882		
2	16	97.5	-7	1.015152	238850	703.5
2	16	52.5	-1.666667	1.005051	27450	497.5
1	6	39.5	175.83333	0.343905		
1	6	110.5	7.833333	0.959201		
2	16	96.5	-5.444444	1.011785	237216.6667	701.166667
2	16	53.5	-2.777778	1.008418	28616.66667	499.166667
1	6	40.5	173.5	0.352612		
1	6	109.5	9.5	0.950521		
2	16	96.5	-7.777778	1.016835	232666.6667	704.666667
2	16	53.5	-1.111111	1.003367	31866.66667	496.666667
1	7	41.5	180.02778	0.385571		
1	7	108.5	-1.472222	1.007027		
2	7	96.5	180.02778	0.385571	120764.5833	387.333333
2	7	53.5	-1.472222	1.007027	18052.08333	723.333333
1	7	42.5	177.30556	0.394862		
1	7	107.5	0.472222	0.997746		
2	16	101.5	-8.944444	1.01936	241679.1667	706.416667
2	16	48.5	-0.277778	1.000842	25429.16667	495.416667
1	7	43.5	174.58333	0.404152		
1	7	106.5	2.416667	0.988465		
2	16	100.5	-8.166667	1.017677	238937.5	705.25
2	16	49.5	-0.833333	1.002525	27387.5	496.25
1	7	44.5	171.86111	0.413443		
1	7	105.5	4.361111	0.979183		
2	16	99.5	-7.388889	1.015993	236195.8333	704.083333
2	16	50.5	-1.388889	1.004209	29345.83333	497.083333
1	7	45.5	169.13889	0.422734		
1	7	104.5	6.305556	0.969902		
2	16	98.5	-6.611111	1.01431	233454.1667	702.916667
2	16	51.5	-1.944444	1.005892	31304.16667	497.916667
1	7	46.5	166.41667	0.432025		
1	7	103.5	8.25	0.960621		
2	16	97.5	-5.833333	1.012626	230712.5	701.75
2	16	52.5	-2.5	1.007576	33262.5	498.75
1	7	47.5	163.69444	0.441316		
1	7	102.5	10.194444	0.951339		
2	16	96.5	-5.055556	1.010943	227970.8333	700.583333
2	16	53.5	-3.055556	1.009259	35220.83333	499.583333

1	8	48.5	167.11111	0.474493		
1	8	101.5	1.444444	0.993637		
2	16	102.5	-7.777778	1.016835	235466.6667	704.666667
2	16	47.5	-1.111111	1.003367	29866.66667	496.666667
1	8	49.5	164	0.484277		
1	8	100.5	3.666667	0.983847		
2	16	101.5	-7.777778	1.016835	231733.3333	704.666667
2	16	48.5	-1.111111	1.003367	32533.33333	496.666667
1	8	50.5	160.88889	0.49406		
1	8	99.5	5.888889	0.974058		
2	16	100.5	-7.777778	1.016835	228000	704.666667
2	16	49.5	-1.111111	1.003367	35200	496.666667
1	8	51.5	157.77778	0.503843		
1	8	98.5	8.111111	0.964268		
2	16	99.5	-7.777778	1.016835	224266.6667	704.666667
2	16	50.5	-1.111111	1.003367	37866.66667	496.666667
1	8	52.5	154.66667	0.513627		
1	8	97.5	10.333333	0.954479		
2	16	98.5	-7.777778	1.016835	220533.3333	704.666667
2	16	51.5	-1.111111	1.003367	40533.33333	496.666667
1	9	53.5	151.25	0.553176		
1	9	96.5	0.75	0.996901		
2	15	113.5	-3.75	1.008408	217256.25	719.6
2	15	36.5	14.75	0.953689	42468.75	486
1	9	54.5	147.75	0.563516		
1	9	95.5	3.25	0.98657		
2	16	102.5	-7.777778	1.016835	222866.6667	704.666667
2	16	47.5	-1.111111	1.003367	38866.66667	496.666667
1	9	55.5	144.25	0.573855		
1	9	94.5	5.75	0.97624		
2	16	101.5	-8.555556	1.018519	218258.3333	705.833333
2	16	48.5	-0.555556	1.001684	42158.33333	495.833333
1	9	56.5	140.75	0.584195		
1	9	93.5	8.25	0.965909		
2	16	99.5	-6.611111	1.01431	215079.1667	702.916667
2	16	50.5	-1.944444	1.005892	44429.16667	497.916667
1	9	57.5	137.25	0.594535		
1	9	92.5	10.75	0.955579		
2	16	98.5	-7.388889	1.015993	210470.8333	704.083333
2	16	51.5	-1.388889	1.004209	47720.83333	497.083333
1	10	58.5	131.5	0.633705		
1	10	91.5	2.833333	0.988975		
2	16	104.5	-9.333333	1.020202	213300	707
2	16	45.5	0	1	45700	495
1	10	59.5	127.61111	0.644537		
1	10	90.5	5.611111	0.978167		
2	16	102.5	-8.555556	1.018519	208983.3333	705.833333
2	16	47.5	-0.555556	1.001684	48783.33333	495.833333

1	10	60.5	123.72222	0.65537		
1	10	89.5	8.388889	0.967358		
2	16	100.5	-7.777778	1.016835	204666.6667	704.666667
2	16	49.5	-1.111111	1.003367	51866.66667	496.666667
1	10	61.5	119.83333	0.666202		
1	10	88.5	11.166667	0.95655		
2	16	98.5	-7	1.015152	200350	703.5
2	16	51.5	-1.666667	1.005051	54950	497.5
1	11	62.5	110.13889	0.708241		
1	11	87.5	2.638889	0.990226		
2	16	104.5	-8.555556	1.018519	201108.3333	705.833333
2	16	45.5	-0.555556	1.001684	54408.33333	495.833333
1	11	63.5	105.86111	0.719573		
1	11	86.5	5.694444	0.978909		
2	16	101.5	-7	1.015152	196558.3333	703.5
2	16	48.5	-1.666667	1.005051	57658.33333	497.5
1	11	64.5	101.58333	0.730905		
1	11	85.5	8.75	0.967593		
2	16	98.5	-5.444444	1.011785	192008.3333	701.166667
2	16	51.5	-2.777778	1.008418	60908.33333	499.166667
1	11	65.5	97.305556	0.742237		
1	11	84.5	11.805556	0.956276		
2	16	96.5	-5.833333	1.012626	186729.1667	701.75
2	16	53.5	-2.5	1.007576	64679.16667	498.75
1	12	66.5	85.666667	0.78367		
1	12	83.5	4.666667	0.98351		
2	16	102.5	-7.777778	1.016835	185066.6667	704.666667
2	16	47.5	-1.111111	1.003367	65866.66667	496.666667
1	12	67.5	81	0.795455		
1	12	82.5	8	0.971731		
2	16	98.5	-6.222222	1.013468	179933.3333	702.333333
2	16	51.5	-2.222222	1.006734	69533.33333	498.333333
1	12	68.5	76.333333	0.807239		
1	12	81.5	11.333333	0.959953		
2	16	94.5	-4.666667	1.010101	174800	700
2	16	55.5	-3.333333	1.010101	73200	500
1	13	69.5	61.638889	0.850753		
1	13	80.5	4.305556	0.985405		
2	16	100.5	-6.611111	1.01431	171329.1667	702.916667
2	16	49.5	-1.944444	1.005892	75679.16667	497.916667
1	13	70.5	56.583333	0.862994		
1	13	79.5	7.916667	0.973164		
2	16	93.5	-3.5	1.007576	165962.5	698.25
2	16	56.5	-4.166667	1.012626	79512.5	501.25
1	13	71.5	51.527778	0.875235		
1	13	78.5	11.527778	0.960923		
2	16	87.5	-1.555556	1.003367	160333.3333	695.333333
2	16	62.5	-5.555556	1.016835	83533.33333	503.333333

1	14	72.5	35.277778	0.917959		
1	14	77.5	5.611111	0.981723		
2	16	88.5	-1.555556	1.003367	155200	695.333333
2	16	61.5	-5.555556	1.016835	87200	503.333333
1	14	73.5	29.833333	0.93062		
1	14	76.5	9.5	0.969055		
2	16	80.5	-0.777778	1.001684	148783.3333	694.166667
2	16	69.5	-6.111111	1.018519	91783.33333	504.166667
1	14	74.5	24.388889	0.943282		
1	14	75.5	13.388889	0.956388		
2	16	72.5	0	1	142366.6667	693
2	16	77.5	-6.666667	1.020202	96366.66667	505
1	14	75.5	18.944444	0.955943		
1	14	74.5	17.277778	0.943721		
2	16	65.5	0	1	135833.3333	693
2	16	84.5	-6.666667	1.020202	101033.3333	505
1	14	76.5	13.5	0.968605		
1	14	73.5	21.166667	0.931053		
2	16	58.5	0	1	129300	693
2	16	91.5	-6.666667	1.020202	105700	505
1	14	77.5	8.055556	0.981266		
1	14	72.5	25.055556	0.918386		
2	16	52.5	-0.777778	1.001684	122650	694.166667
2	16	97.5	-6.111111	1.018519	110450	504.166667
1	13	78.5	16.138889	0.960923		
1	13	71.5	36.805556	0.875235		
2	16	56.5	-0.777778	1.001684	118041.6667	694.166667
2	16	93.5	-6.111111	1.018519	113741.6667	504.166667
1	13	79.5	11.083333	0.973164		
1	13	70.5	40.416667	0.862994		
2	16	51.5	0	1	112150	693
2	16	98.5	-6.666667	1.020202	117950	505
1	13	80.5	6.027778	0.985405		
1	13	69.5	44.027778	0.850753		
2	16	47.5	-0.388889	1.000842	105995.8333	693.583333
2	16	102.5	-6.388889	1.01936	122345.8333	504.583333
1	12	81.5	15.666667	0.960438		
1	12	68.5	54.666667	0.806832		
2	16	53.5	-1.555556	1.003367	102933.3333	695.333333
2	16	96.5	-5.555556	1.016835	124533.3333	503.333333
1	12	82.5	11	0.972222		
1	12	67.5	58	0.795053		
2	16	49.5	0	1	97800	693
2	16	100.5	-6.666667	1.020202	128200	505
1	12	83.5	6.333333	0.984007		
1	12	66.5	61.333333	0.783274		
2	16	46.5	0	1	92200	693
2	16	103.5	-6.666667	1.020202	132200	505

1	11	84.5	16.027778	0.957542		
1	11	65.5	69.861111	0.741255		
2	16	52.5	-1.555556	1.003367	90800	695.333333
2	16	97.5	-5.555556	1.016835	133200	503.333333
1	11	85.5	11.75	0.968874		
1	11	64.5	72.916667	0.729938		
2	16	49.5	0	1	86250	693
2	16	100.5	-6.666667	1.020202	136450	505
1	11	86.5	7.472222	0.980206		
1	11	63.5	75.972222	0.718621		
2	16	47.5	-0.388889	1.000842	80970.83333	693.583333
2	16	102.5	-6.388889	1.01936	140220.8333	504.583333
1	11	87.5	3.194444	0.991538		
1	11	62.5	79.027778	0.707305		
2	16	45.5	-0.777778	1.001684	75691.66667	694.166667
2	16	104.5	-6.111111	1.018519	143991.6667	504.166667
1	10	88.5	14.833333	0.958682		
1	10	61.5	86.166667	0.664721		
2	16	51.5	-2.333333	1.005051	76450	696.5
2	16	98.5	-5	1.015152	143450	502.5
1	10	89.5	10.944444	0.969514		
1	10	60.5	88.944444	0.653913		
2	16	49.5	-1.555556	1.003367	72133.33333	695.333333
2	16	100.5	-5.555556	1.016835	146533.3333	503.333333
1	10	90.5	7.055556	0.980347		
1	10	59.5	91.722222	0.643104		
2	16	47.5	-0.777778	1.001684	67816.66667	694.166667
2	16	102.5	-6.111111	1.018519	149616.6667	504.166667
1	10	91.5	3.166667	0.991179		
1	10	58.5	94.5	0.632296		
2	16	45.5	0	1	63500	693
2	16	104.5	-6.666667	1.020202	152700	505
1	9	92.5	14.75	0.956425		
1	9	57.5	98.25	0.594008		
2	16	51.5	-1.944444	1.004209	66329.16667	695.916667
2	16	98.5	-5.277778	1.015993	150679.1667	502.916667
1	9	93.5	11.25	0.966765		
1	9	56.5	100.75	0.583678		
2	16	49.5	0	1	63150	693
2	16	100.5	-6.666667	1.020202	152950	505
1	9	94.5	7.75	0.977105		
1	9	55.5	103.25	0.573347		
2	16	48.5	-0.777778	1.001684	58541.66667	694.166667
2	16	101.5	-6.111111	1.018519	156241.6667	504.166667
1	9	95.5	4.25	0.987445		
1	9	54.5	105.75	0.563017		
2	16	47.5	-1.555556	1.003367	53933.33333	695.333333
2	16	102.5	-5.555556	1.016835	159533.3333	503.333333

1	9	96.5	0.75	0.997784		
1	9	53.5	108.25	0.552686		
2	10	113.5	-22.5	1.062674	45525	915.6
2	10	36.5	112.83333	0.56096	123025	346
1	8	97.5	14.666667	0.953878		
1	8	52.5	110.33333	0.51395		
2	16	51.5	-1.555556	1.003367	56266.66667	695.333333
2	16	98.5	-5.555556	1.016835	157866.66667	503.333333
1	8	98.5	11.555556	0.963662		
1	8	51.5	112.55556	0.504161		
2	16	50.5	-1.555556	1.003367	52533.33333	695.333333
2	16	99.5	-5.555556	1.016835	160533.3333	503.333333
1	8	99.5	8.444444	0.973445		
1	8	50.5	114.77778	0.494371		
2	16	49.5	-1.555556	1.003367	48800	695.333333
2	16	100.5	-5.555556	1.016835	163200	503.333333
1	8	100.5	5.333333	0.983229		
1	8	49.5	117	0.484581		
2	16	48.5	-1.555556	1.003367	45066.66667	695.333333
2	16	101.5	-5.555556	1.016835	165866.6667	503.333333
1	8	101.5	2.222222	0.993012		
1	8	48.5	119.22222	0.474792		
2	16	47.5	-1.555556	1.003367	41333.33333	695.333333
2	16	102.5	-5.555556	1.016835	168533.3333	503.333333
1	7	102.5	13.972222	0.952313		
1	7	47.5	117.13889	0.440864		
2	16	52.5	-0.777778	1.001684	51191.66667	694.166667
2	16	97.5	-6.111111	1.018519	161491.6667	504.166667
1	7	103.5	11.25	0.961604		
1	7	46.5	119.08333	0.431583		
2	16	51.5	0	1	48450	693
2	16	98.5	-6.666667	1.020202	163450	505
1	7	104.5	8.527778	0.970895		
1	7	45.5	121.02778	0.422302		
2	16	51.5	-2.722222	1.005892	43345.83333	697.083333
2	16	98.5	-4.722222	1.01431	167095.8333	502.083333
1	7	105.5	5.805556	0.980186		
1	7	44.5	122.97222	0.41302		
2	16	50.5	-1.944444	1.004209	40604.16667	695.916667
2	16	99.5	-5.277778	1.015993	169054.1667	502.916667
1	7	106.5	3.083333	0.989477		
1	7	43.5	124.91667	0.403739		
2	16	49.5	-1.166667	1.002525	37862.5	694.75
2	16	100.5	-5.833333	1.017677	171012.5	503.75
1	7	107.5	0.361111	0.998768		
1	7	42.5	126.86111	0.394458		
2	16	48.5	-0.388889	1.000842	35120.83333	693.583333
2	16	101.5	-6.388889	1.01936	172970.8333	504.583333

LAMPIRAN 2

1	7	108.5	-2.361111	1.008058		
1	7	41.5	128.80556	0.385176		
2	7	48.5	-2.361111	1.008058	25010.41667	1012.66667
2	7	101.5	128.80556	0.385176	86447.91667	276.66667
1	6	109.5	12.5	0.953358		
1	6	40.5	124.5	0.351563		
2	16	53.5	-1.555556	1.003367	44133.33333	695.333333
2	16	96.5	-5.555556	1.016835	166533.3333	503.333333
1	6	110.5	10.166667	0.962065		
1	6	39.5	126.16667	0.342882		
2	16	52.5	0	1	42500	693
2	16	97.5	-6.666667	1.020202	167700	505
1	6	111.5	7.833333	0.970771		
1	6	38.5	127.83333	0.334201		
2	16	52.5	-2.333333	1.005051	37950	696.5
2	16	97.5	-5	1.015152	170950	502.5
1	6	112.5	5.5	0.979478		
1	6	37.5	129.5	0.325521		
2	16	51.5	-0.777778	1.001684	36316.66667	694.166667
2	16	98.5	-6.111111	1.018519	172116.6667	504.166667

Result phase 1

K1	K2	K3	K4	K5	K6	K7	K8	K9
1	150	61	42	19	42	0.691001	1402.0833	1003.3333
2	300	121	42	37	84	0.691001	4206.25	1003.3333
3	450	163	42	38	125	0.769427	5622.9167	1003.3333
4	600	205	42	38	167	0.815718	5652.0833	1003.3333
5	750	237	42	27	209	0.883838	4893.75	1003.3333
6	900	268	42	17	251	0.935945	3347.9167	1003.3333
7	1050	293	42	0	293	0.998768	1314.5833	1003.3333
8	1200	318	19	7	312	0.97956	514.58333	452.66667
9	1350	339	19	8	330	0.975956	1097.9167	452.66667
10	1500	359	19	10	349	0.972764	1343.75	452.66667
11	1650	378	19	9	368	0.975055	1439.5833	452.66667
12	1800	396	19	9	387	0.977132	1385.4167	452.66667
13	1950	413	19	7	406	0.98258	1218.75	452.66667
14	2100	430	19	5	425	0.987597	939.58333	452.66667
15	2250	446	19	2	444	0.994457	585.41667	452.66667
16	2400	462	19	0	462	1.000842	156.25	452.66667
							35120.833	693.58333
							K10	K11

Result phase 2

1	150	43	12	31	11.805556	0.274548	2339.5833	283.33333
2	300	86	12	62	23.611111	0.274548	7018.75	283.33333
3	450	117	12	81	35.416667	0.304006	10760.417	283.33333
4	600	147	12	100	47.222222	0.32124	13564.583	283.33333
5	750	170	12	110	59.027778	0.348246	15768.75	283.33333
6	900	192	12	121	70.833333	0.368924	17372.917	283.33333

LAMPIRAN 2

7	1050	210	12	127	82.638889	0.394458	18602.083	283.33333
8	1200	227	28	116	110.833333	0.488253	18227.083	676.66667
9	1350	242	28	103	139.027778	0.574495	16435.417	676.66667
10	1500	257	28	90	167.222222	0.65067	14456.25	676.66667
11	1650	270	28	75	195.416667	0.723765	12327.083	676.66667
12	1800	283	28	59	223.611111	0.790145	10047.917	676.66667
13	1950	295	28	43	251.805556	0.853578	7693.75	676.66667
14	2100	307	28	27	280	0.912052	5264.5833	676.66667
15	2250	319	28	10	308.194444	0.967643	2797.9167	676.66667
16	2400	330	28	-6	336.388889	1.01936	293.75	676.66667
							172970.83	504.58333

G before switch

108 42.5

G after switch

48.5 102

Penjelasan Hasil Simulasi

Hasil simulasi yang disajikan pada Lampiran 2 meliputi:

- a. Hasil Iterasi : hasil iterasi berupa 7 kolom yang merupakan ringkasan kinerja dari masing-masing iterasi, sebagai berikut:

C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7
1	6.000000	37.500000	180.500000	0.326493		
1	6.000000	112.500000	4.500000	0.976563		
2	16.000000	98.500000	-8.555556	1.018519	240483.333333	705.833333
2	16.000000	51.500000	-0.555556	1.001684	26283.333333	495.833333

Keterangan masing-masing kolom:

- C1 = menyatakan sebelum atau sesudah switching. nilai 1 adalah sebelum switching dan 2 setelah switching. tiap nilai selalu muncul double merepresentasikan phase, phase satu dan phase 2
- C2 = menyatakan banyak iterasi. untuk C1=1, nilai C2 menunjukkan banyak iterasi sebelum switching, dan ketika C1=2 merupakan iterasi saat program berhenti/*terminate*.
- C3 = Baris 1 :
menyatakan lama waktu hijau. pendekat 1 sebelum switch (ketika C1=1),
Baris 2 :
menyatakan lama waktu hijau. pendekat2 sebelum switch (ketika C1=1),
Baris 3 :
menyatakan lama waktu hijau. pendekat 1 ketika sesudah switch atau saat akhir iterasi (ketika C1=2),
Baris 4 :
menyatakan lama waktu hijau. pendekat 2 ketika sesudah switch atau saat akhir iterasi (ketika C1=2).

- C4 = menyatakan panjang antrian sesaat sebelum switching dan saat simulasi berhenti/*terminate*
- C5 = menyatakan rasio kendaraan sesaat sebelum switch dan ketika simulasi berhenti/*terminate*
- C6 = menyatakan total tundaan pada pendekat 1 (baris atas) dan pendekat 2 (baris bawah)
- C7 = menyatakan *throughput* rata-rata pada pendekat 1 (baris atas) dan pendekat 2 (baris bawah)

b. Uraian kinerja pada waktu hijau optimal : hasil perhitungan kinerja pada waktu hijau optimal meliputi 9 kolom, sebagai berikut:

Result phase 1

K1	K2	K3	K4	K5	K6	K7	K8	K9
1	150	61	42	19	42	0.691001	1402.0833	1003.3333
2	300	121	42	37	84	0.691001	4206.25	1003.3333
3	450	163	42	38	125	0.769427	5622.9167	1003.3333
4	600	205	42	38	167	0.815718	5652.0833	1003.3333
5	750	237	42	27	209	0.883838	4893.75	1003.3333
6	900	268	42	17	251	0.935945	3347.9167	1003.3333
7	1050	293	42	0	293	0.998768	1314.5833	1003.3333
8	1200	318	19	7	312	0.97956	514.58333	452.66667
9	1350	339	19	8	330	0.975956	1097.9167	452.66667
10	1500	359	19	10	349	0.972764	1343.75	452.66667
11	1650	378	19	9	368	0.975055	1439.5833	452.66667
12	1800	396	19	9	387	0.977132	1385.4167	452.66667
13	1950	413	19	7	406	0.98258	1218.75	452.66667
14	2100	430	19	5	425	0.987597	939.58333	452.66667
15	2250	446	19	2	444	0.994457	585.41667	452.66667
16	2400	462	19	0	462	1.000842	156.25	452.66667
							35120.833	693.58333
							K10	K11

Penjelasan Hasil Simulasi Pada waktu Hijau Optimal Pada Pendekat 1:

- K1 = Menyatakan no siklus. Pada contoh ini simulasi berakhir pada siklus ke 16

- K2 = Menyatakan lama periode lewat jenuh. Pada contoh ini, $c=150$ detik, sehingga periode lewat jenuh $=16*150$ detik = 2400 detik
- K3 = Menyatakan kedatangan kendaraan pada pendekat 1 setiap siklus (smp)
- K4 = Menyatakan jumlah kendaraan yang dilepas pada pendekat 1 setiap siklus (smp)
- K5 = Menyatakan jumlah kendaraan yang antri pada pendekat 1 setiap siklus (smp)
- K6 = Menyatakan akumulasi kendaraan yang dilepas pada pendekat 1 setiap siklus (smp)
- K7 = Menyatakan rasio akumulasi kendaraan yang dilepas terhadap kendaraan yang datang pada pendekat 1 setiap siklus
- K8 = Menyatakan tundaan yang terjadi pada pendekat 1 setiap siklus (detik)
- K9 = Menyatakan *throughput* yang terjadi pada pendekat 1 setiap siklus (smp/jam)
- K10 = Menyatakan tundaan total pada pendekat 1 sepanjang periode lewat jenuh
- K11 = Menyatakan *throughput* rata-rata pada pendekat 1 sepanjang periode lewat jenuh

- c. Waktu hijau optimal: waktu hijau optimal meliputi waktu hijau sebelum dan sesudah perubahan waktu hijau (*switch over*) pada masing-masing pendekat, sebagai berikut.

G before switch:

108 42.5

menunjukkan hasil waktu hijau optimum pendekat 1 dan 2 sebelum perubahan waktu hijau (*switch over*)

G after switch:

48.5 102

menunjukkan hasil waktu hijau optimum pendekat 1 dan 2 sesudah perubahan waktu hijau (*switch over*)

Contoh Proses Pemilihan Waktu Hijau Optimum Dari Solusi Yang Memenuhi Syarat

Tabel I4-1. Solusi Waktu Hijau Yang Memenuhi Syarat Menyelesaikan Antrian Pada Siklus Yang Sama

solusi	1	2	3	4	5	6	7	total tundaan detik	throughput rata-rata smp/jam	g11 detik	g21 detik	g12 detik	g22 detik	jml iterasi
1	1	6	37.5	180.5	0.326493									
	1	6	112.5	4.5	0.976563									
	2	16	98.5	-8.555556	1.018519	240483.33	705.83333	266.767	1201.67	37.5	112.5	98.5	51.5	16
	2	16	51.5	-0.555556	1.001684	26283.333	495.83333			6	6	10	10	
2	1	6	38.5	178.16667	0.335199									
	1	6	111.5	6.166667	0.967882									
	2	16	97.5	-7	1.015152	238850	703.5	266.300	1201.00	38.5	111.5	97.5	52.5	16
	2	16	52.5	-1.666667	1.005051	27450	497.5			6	6	10	10	
3	1	6	39.5	175.83333	0.343905									
	1	6	110.5	7.833333	0.959201									
	2	16	96.5	-5.444444	1.011785	237216.67	701.16667	265.833	1200.33	39.5	110.5	96.5	53.5	16
	2	16	53.5	-2.777778	1.008418	28616.667	499.16667			6	6	10	10	
4	1	6	40.5	173.5	0.352612									
	1	6	109.5	9.5	0.950521									
	2	16	96.5	-7.777778	1.016835	232666.67	704.66667	264.533	1201.33	40.5	109.5	96.5	53.5	16
	2	16	53.5	-1.111111	1.003367	31866.667	496.66667			6	6	10	10	
5	1	7	42.5	177.30556	0.394862									
	1	7	107.5	0.472222	0.997746									
	2	16	101.5	-8.944444	1.01936	241679.17	706.41667	267.108	1201.83	42.5	107.5	101.5	48.5	16
	2	16	48.5	-0.277778	1.000842	25429.167	495.41667			7	7	9	9	
6	1	7	43.5	174.58333	0.404152									
	1	7	106.5	2.416667	0.988465									
	2	16	100.5	-8.166667	1.017677	238937.5	705.25	266.325	1201.50	43.5	106.5	100.5	49.5	16
	2	16	49.5	-0.833333	1.002525	27387.5	496.25			7	7	9	9	
7	1	7	44.5	171.86111	0.413443									
	1	7	105.5	4.361111	0.979183									
	2	16	99.5	-7.388889	1.015993	236195.83	704.08333	265.542	1201.17	44.5	105.5	99.5	50.5	16
	2	16	50.5	-1.388889	1.004209	29345.833	497.08333			7	7	9	9	
8	1	7	45.5	169.13889	0.422734									
	1	7	104.5	6.305556	0.969902									
	2	16	98.5	-6.611111	1.01431	233454.17	702.91667	264.758	1200.83	45.5	104.5	98.5	51.5	16
	2	16	51.5	-1.944444	1.005892	31304.167	497.91667			7	7	9	9	
9	1	7	46.5	166.41667	0.432025									
	1	7	103.5	8.25	0.960621									
	2	16	97.5	-5.833333	1.012626	230712.5	701.75	263.975	1200.50	46.5	103.5	97.5	52.5	16
	2	16	52.5	-2.5	1.007576	33262.5	498.75			7	7	9	9	
10	1	7	47.5	163.69444	0.441316									
	1	7	102.5	10.194444	0.951339									
	2	16	96.5	-5.055556	1.010943	227970.83	700.58333	263.192	1200.17	47.5	102.5	96.5	53.5	16
	2	16	53.5	-3.055556	1.009259	35220.833	499.58333			7	7	9	9	
11	1	8	48.5	167.11111	0.474493									
	1	8	101.5	1.444444	0.993637									
	2	16	102.5	-7.777778	1.016835	235466.67	704.66667	265.333	1201.33	48.5	101.5	102.5	47.5	16
	2	16	47.5	-1.111111	1.003367	29866.667	496.66667			8	8	8	8	
12	1	8	49.5	164	0.484277									
	1	8	100.5	3.666667	0.983847									
	2	16	101.5	-7.777778	1.016835	231733.33	704.66667	264.267	1201.33	49.5	100.5	101.5	48.5	16
	2	16	48.5	-1.111111	1.003367	32533.333	496.66667			8	8	8	8	
13	1	8	50.5	160.88889	0.49406									
	1	8	99.5	5.888889	0.974058									
	2	16	100.5	-7.777778	1.016835	228000	704.66667	263.200	1201.33	50.5	99.5	100.5	49.5	16
	2	16	49.5	-1.111111	1.003367	35200	496.66667			8	8	8	8	
14	1	8	51.5	157.77778	0.503843									
	1	8	98.5	8.111111	0.964268									
	2	16	99.5	-7.777778	1.016835	224266.67	704.66667	262.133	1201.33	51.5	98.5	99.5	50.5	16
	2	16	50.5	-1.111111	1.003367	37866.667	496.66667			8	8	8	8	
15	1	8	52.5	154.66667	0.513627									
	1	8	97.5	10.333333	0.954479									
	2	16	98.5	-7.777778	1.016835	220533.33	704.66667	261.067	1201.33	52.5	97.5	98.5	51.5	16
	2	16	51.5	-1.111111	1.003367	40533.333	496.66667			8	8	8	8	

LAMPIRAN 4

solusi	1	2	3	4	5	6	7	total tundaan	throughput rata-rata	g11	g21	g12	g22	jml iterasi
								detik	smp/jam	detik	detik	detik	detik	
16	1	9	54.5	147.75	0.563516									
	1	9	95.5	3.25	0.98657									
	2	16	102.5	-7.777778	1.016835	222866.67	704.66667	261,733	1201.33	54.5	95.5	102.5	47.5	16
	2	16	47.5	-1.111111	1.003367	38866.667	496.66667			9	9	7	7	
17	1	9	55.5	144.25	0.573855									
	1	9	94.5	5.75	0.97624									
	2	16	101.5	-8.555556	1.018519	218258.33	705.83333	260,417	1201.67	55.5	94.5	101.5	48.5	16
	2	16	48.5	-0.555556	1.001684	42158.333	495.83333			9	9	7	7	
18	1	9	56.5	140.75	0.584195									
	1	9	93.5	8.25	0.965909									
	2	16	99.5	-6.611111	1.01431	215079.17	702.91667	259,508	1200.83	56.5	93.5	99.5	50.5	16
	2	16	50.5	-1.944444	1.005892	44429.167	497.91667			9	9	7	7	
19	1	9	57.5	137.25	0.594535									
	1	9	92.5	10.75	0.955579									
	2	16	98.5	-7.388889	1.015993	210470.83	704.08333	258,192	1201.17	57.5	92.5	98.5	51.5	16
	2	16	51.5	-1.388889	1.004209	47720.833	497.08333			9	9	7	7	
20	1	10	58.5	131.5	0.633705									
	1	10	91.5	2.833333	0.988975									
	2	16	104.5	-9.333333	1.020202	213300	707	259,000	1202.00	58.5	91.5	104.5	45.5	16
	2	16	45.5	0	1	45700	495			10	10	6	6	
21	1	10	59.5	127.61111	0.644537									
	1	10	90.5	5.611111	0.978167									
	2	16	102.5	-8.555556	1.018519	208983.33	705.83333	257,767	1201.67	59.5	90.5	102.5	47.5	16
	2	16	47.5	-0.555556	1.001684	48783.333	495.83333			10	10	6	6	
22	1	10	60.5	123.72222	0.65537									
	1	10	89.5	8.388889	0.967358									
	2	16	100.5	-7.777778	1.016835	204666.67	704.66667	256,533	1201.33	60.5	89.5	100.5	49.5	16
	2	16	49.5	-1.111111	1.003367	51866.667	496.66667			10	10	6	6	
23	1	10	61.5	119.83333	0.666202									
	1	10	88.5	11.166667	0.95655									
	2	16	98.5	-7	1.015152	200350	703.5	255,300	1201.00	61.5	88.5	98.5	51.5	16
	2	16	51.5	-1.666667	1.005051	54950	497.5			10	10	6	6	
24	1	11	62.5	110.13889	0.708241									
	1	11	87.5	2.638889	0.990226									
	2	16	104.5	-8.555556	1.018519	201108.33	705.83333	255,517	1201.67	62.5	87.5	104.5	45.5	16
	2	16	45.5	-0.555556	1.001684	54408.333	495.83333			11	11	5	5	
25	1	11	63.5	105.86111	0.719573									
	1	11	86.5	5.694444	0.978909									
	2	16	101.5	-7	1.015152	196558.33	703.5	254,217	1201.00	63.5	86.5	101.5	48.5	16
	2	16	48.5	-1.666667	1.005051	57658.333	497.5			11	11	5	5	
26	1	11	64.5	101.58333	0.730905									
	1	11	85.5	8.75	0.967593									
	2	16	98.5	-5.444444	1.011785	192008.33	701.16667	252,917	1200.33	64.5	85.5	98.5	51.5	16
	2	16	51.5	-2.777778	1.008418	60908.333	499.16667			11	11	5	5	
27	1	11	65.5	97.305556	0.742237									
	1	11	84.5	11.805556	0.956276									
	2	16	96.5	-5.833333	1.012626	186729.17	701.75	251,408	1200.50	65.5	84.5	96.5	53.5	16
	2	16	53.5	-2.5	1.007576	64679.167	498.75			11	11	5	5	
28	1	12	66.5	85.666667	0.78367									
	1	12	83.5	4.666667	0.98351									
	2	16	102.5	-7.777778	1.016835	185066.67	704.66667	250,933	1201.33	66.5	83.5	102.5	47.5	16
	2	16	47.5	-1.111111	1.003367	65866.667	496.66667			12	12	4	4	
29	1	12	67.5	81	0.795455									
	1	12	82.5	8	0.971731									
	2	16	98.5	-6.222222	1.013468	179933.33	702.33333	249,467	1200.67	67.5	82.5	98.5	51.5	16
	2	16	51.5	-2.222222	1.006734	69533.333	498.33333			12	12	4	4	
30	1	12	68.5	76.333333	0.807239									
	1	12	81.5	11.333333	0.959953									
	2	16	94.5	-4.666667	1.010101	174800	700	248,000	1200.00	68.5	81.5	94.5	55.5	16
	2	16	55.5	-3.333333	1.010101	73200	500			12	12	4	4	

LAMPIRAN 4

solusi	1	2	3	4	5	6	7	total tundaan detik	throughput rata-rata smp/jam	g11 detik	g21 detik	g12 detik	g22 detik	jml iterasi
31	1	13	69.5	61.638889	0.850753									
	1	13	80.5	4.305556	0.985405									
	2	16	100.5	-6.611111	1.01431	171329.17	702.91667	247,008	1200.83	69.5	80.5	100.5	49.5	16
32	2	16	49.5	-1.944444	1.005892	75679.167	497.91667			13	13	3	3	
	1	13	70.5	56.583333	0.862994									
	1	13	79.5	7.916667	0.973164									
33	2	16	93.5	-3.5	1.007576	165962.5	698.25	245,475	1199.50	70.5	79.5	93.5	56.5	16
	2	16	56.5	-4.166667	1.012626	79512.5	501.25			13	13	3	3	
	1	13	71.5	51.527778	0.875235									
34	1	13	78.5	11.527778	0.960923									
	2	16	87.5	-1.555556	1.003367	160333.33	695.33333	243,867	1198.67	71.5	78.5	87.5	62.5	16
	2	16	62.5	-5.555556	1.016835	83533.333	503.33333			13	13	3	3	
35	1	14	72.5	35.277778	0.917959									
	1	14	77.5	5.611111	0.981723									
	2	16	88.5	-1.555556	1.003367	155200	695.33333	242,400	1198.67	72.5	77.5	88.5	61.5	16
36	2	16	61.5	-5.555556	1.016835	87200	503.33333			14	14	2	2	
	1	14	73.5	29.833333	0.93062									
	1	14	76.5	9.5	0.969055									
37	2	16	80.5	-0.777778	1.001684	148783.33	694.16667	240,567	1198.33	73.5	76.5	80.5	69.5	16
	2	16	69.5	-6.111111	1.018519	91783.333	504.16667			14	14	2	2	
	1	14	74.5	24.388889	0.943282									
38	1	14	75.5	13.388889	0.956388									
	2	16	72.5	0	1	142366.67	693	238,733	1198.00	74.5	75.5	72.5	77.5	16
	2	16	77.5	-6.666667	1.020202	96366.667	505			14	14	2	2	
39	1	14	75.5	18.944444	0.955943									
	1	14	74.5	17.277778	0.943721									
	2	16	65.5	0	1	135833.33	693	236,867	1198.00	75.5	74.5	65.5	84.5	16
40	2	16	84.5	-6.666667	1.020202	101033.33	505			14	14	2	2	
	1	14	76.5	13.5	0.968605									
	1	14	73.5	21.166667	0.931053									
41	2	16	58.5	0	1	129300	693	235,000	1198.00	76.5	73.5	58.5	91.5	16
	2	16	91.5	-6.666667	1.020202	105700	505			14	14	2	2	
	1	14	77.5	8.055556	0.981266									
42	1	14	72.5	25.055556	0.918386									
	2	16	52.5	-0.777778	1.001684	122650	694.16667	233,100	1198.33	77.5	72.5	52.5	97.5	16
	2	16	97.5	-6.111111	1.018519	110450	504.16667			14	14	2	2	
43	1	13	78.5	16.138889	0.960923									
	1	13	71.5	36.805556	0.875235									
	2	16	56.5	-0.777778	1.001684	118041.67	694.16667	231,783	1198.33	78.5	71.5	56.5	93.5	16
44	2	16	93.5	-6.111111	1.018519	113741.67	504.16667			13	13	3	3	
	1	13	79.5	11.083333	0.973164									
	1	13	70.5	40.416667	0.862994									
45	2	16	51.5	0	1	112150	693	230,100	1198.00	79.5	70.5	51.5	98.5	16
	2	16	98.5	-6.666667	1.020202	117950	505			13	13	3	3	
	1	13	80.5	6.027778	0.985405									
46	1	13	69.5	44.027778	0.850753									
	2	16	47.5	-0.388889	1.000842	105995.83	693.58333	228,342	1198.17	80.5	69.5	47.5	102.5	16
	2	16	102.5	-6.388889	1.01936	122345.83	504.58333			13	13	3	3	
47	1	12	81.5	15.666667	0.960438									
	1	12	68.5	54.666667	0.806832									
	2	16	53.5	-1.555556	1.003367	102933.33	695.33333	227,467	1198.67	81.5	68.5	53.5	96.5	16
48	2	16	96.5	-5.555556	1.016835	124533.33	503.33333			12	12	4	4	
	1	12	82.5	11	0.972222									
	1	12	67.5	58	0.795053									
49	2	16	49.5	0	1	97800	693	226,000	1198.00	82.5	67.5	49.5	100.5	16
	2	16	100.5	-6.666667	1.020202	128200	505			12	12	4	4	
	1	12	83.5	6.333333	0.984007									
50	1	12	66.5	61.333333	0.783274									
	2	16	46.5	0	1	92200	693	224,400	1198.00	83.5	66.5	46.5	103.5	16
	2	16	103.5	-6.666667	1.020202	132200	505			12	12	4	4	

LAMPIRAN 4

solusi	1	2	3	4	5	6	7	total tundaan	throughput rata-rata	g11	g21	g12	g22	jml iterasi
								detik	smp/jam	detik	detik	detik	detik	
46	1	11	84.5	16.027778	0.957542									
	1	11	65.5	69.861111	0.741255									
	2	16	52.5	-1.555556	1.003367	90800	695.33333	224,000	1198.67	84.5	65.5	52.5	97.5	16
47	1	11	85.5	11.75	0.968874									
	1	11	64.5	72.916667	0.729938									
	2	16	49.5	0	1	86250	693	222,700	1198.00	85.5	64.5	49.5	100.5	16
48	1	11	86.5	7.472222	0.980206									
	1	11	63.5	75.972222	0.718621									
	2	16	47.5	-0.388889	1.000842	80970.833	693.58333	221,192	1198.17	86.5	63.5	47.5	102.5	16
49	1	11	87.5	3.194444	0.991538									
	1	11	62.5	79.027778	0.707305									
	2	16	45.5	-0.777778	1.001684	75691.667	694.16667	219,683	1198.33	87.5	62.5	45.5	104.5	16
50	1	10	88.5	14.833333	0.958682									
	1	10	61.5	86.166667	0.664721									
	2	16	51.5	-2.333333	1.005051	76450	696.5	219,900	1199.00	88.5	61.5	51.5	98.5	16
51	1	10	89.5	10.944444	0.969514									
	1	10	60.5	88.944444	0.653913									
	2	16	49.5	-1.555556	1.003367	72133.333	695.33333	218,667	1198.67	89.5	60.5	49.5	100.5	16
52	1	10	90.5	7.055556	0.980347									
	1	10	59.5	91.722222	0.643104									
	2	16	47.5	-0.777778	1.001684	67816.667	694.16667	217,433	1198.33	90.5	59.5	47.5	102.5	16
53	1	10	91.5	3.166667	0.991179									
	1	10	58.5	94.5	0.632296									
	2	16	45.5	0	1	63500	693	216,200	1198.00	91.5	58.5	45.5	104.5	16
54	1	9	92.5	14.75	0.956425									
	1	9	57.5	98.25	0.594008									
	2	16	51.5	-1.944444	1.004209	66329.167	695.91667	217,008	1198.83	92.5	57.5	51.5	98.5	16
55	1	9	93.5	11.25	0.966765									
	1	9	56.5	100.75	0.583678									
	2	16	49.5	0	1	63150	693	216,100	1198.00	93.5	56.5	49.5	100.5	16
56	1	9	94.5	7.75	0.977105									
	1	9	55.5	103.25	0.573347									
	2	16	48.5	-0.777778	1.001684	58541.667	694.16667	214,783	1198.33	94.5	55.5	48.5	101.5	16
57	1	9	95.5	4.25	0.987445									
	1	9	54.5	105.75	0.563017									
	2	16	47.5	-1.555556	1.003367	53933.333	695.33333	213,467	1198.67	95.5	54.5	47.5	102.5	16
58	1	8	97.5	14.666667	0.953878									
	1	8	52.5	110.33333	0.51395									
	2	16	51.5	-1.555556	1.003367	56266.667	695.33333	214,133	1198.67	97.5	52.5	51.5	98.5	16
59	1	8	98.5	11.555556	0.963662									
	1	8	51.5	112.55556	0.504161									
	2	16	50.5	-1.555556	1.003367	52533.333	695.33333	213,067	1198.67	98.5	51.5	50.5	99.5	16
60	1	8	99.5	8.444444	0.973445									
	1	8	50.5	114.77778	0.494371									
	2	16	49.5	-1.555556	1.003367	48800	695.33333	212,000	1198.67	99.5	50.5	49.5	100.5	16
	2	16	100.5	-5.555556	1.016835	163200	503.33333			8	8	8	8	

LAMPIRAN 4

solusi	1	2	3	4	5	6	7	total tundaan	throughput rata-rata	g11	g21	g12	g22	jml iterasi
								detik	smp/jam	detik	detik	detik	detik	
61	1	8	100.5	5.333333	0.983229									
	1	8	49.5	117	0.484581									
	2	16	48.5	-1.555556	1.003367	45066.667	695.33333	210,933	1198.67	100.5	49.5	48.5	101.5	16
	2	16	101.5	-5.555556	1.016835	165866.67	503.33333			8	8	8	8	
62	1	8	101.5	2.222222	0.993012									
	1	8	48.5	119.22222	0.474792									
	2	16	47.5	-1.555556	1.003367	41333.333	695.33333	209,867	1198.67	101.5	48.5	47.5	102.5	16
	2	16	102.5	-5.555556	1.016835	168533.33	503.33333			8	8	8	8	
63	1	7	102.5	13.972222	0.952313									
	1	7	47.5	117.13889	0.440864									
	2	16	52.5	-0.777778	1.001684	51191.667	694.16667	212,683	1198.33	102.5	47.5	52.5	97.5	16
	2	16	97.5	-6.111111	1.018519	161491.67	504.16667			7	7	9	9	
64	1	7	103.5	11.25	0.961604									
	1	7	46.5	119.08333	0.431583									
	2	16	51.5	0	1	48450	693	211,900	1198.00	103.5	46.5	51.5	98.5	16
	2	16	98.5	-6.666667	1.020202	163450	505			7	7	9	9	
65	1	7	104.5	8.527778	0.970895									
	1	7	45.5	121.02778	0.422302									
	2	16	51.5	-2.722222	1.005892	43345.833	697.08333	210,442	1199.17	104.5	45.5	51.5	98.5	16
	2	16	98.5	-4.722222	1.01431	167095.83	502.08333			7	7	9	9	
66	1	7	105.5	5.805556	0.980186									
	1	7	44.5	122.97222	0.41302									
	2	16	50.5	-1.944444	1.004209	40604.167	695.91667	209,658	1198.83	105.5	44.5	50.5	99.5	16
	2	16	99.5	-5.277778	1.015993	169054.17	502.91667			7	7	9	9	
67	1	7	106.5	3.083333	0.989477									
	1	7	43.5	124.91667	0.403739									
	2	16	49.5	-1.166667	1.002525	37862.5	694.75	208,875	1198.50	106.5	43.5	49.5	100.5	16
	2	16	100.5	-5.833333	1.017677	171012.5	503.75			7	7	9	9	
68	1	7	107.5	0.361111	0.998768									
	1	7	42.5	126.86111	0.394458									
	2	16	48.5	-0.388889	1.000842	35120.833	693.58333	208,092	1198.17	107.5	42.5	48.5	101.5	16
	2	16	101.5	-6.388889	1.01936	172970.83	504.58333			7	7	9	9	
69	1	6	109.5	12.5	0.953358									
	1	6	40.5	124.5	0.351563									
	2	16	53.5	-1.555556	1.003367	44133.333	695.33333	210,667	1198.67	109.5	40.5	53.5	96.5	16
	2	16	96.5	-5.555556	1.016835	166533.33	503.33333			6	6	10	10	
70	1	6	110.5	10.166667	0.962065									
	1	6	39.5	126.16667	0.342882									
	2	16	52.5	0	1	42500	693	210,200	1198.00	110.5	39.5	52.5	97.5	16
	2	16	97.5	-6.666667	1.020202	167700	505			6	6	10	10	
71	1	6	111.5	7.833333	0.970771									
	1	6	38.5	127.83333	0.334201									
	2	16	52.5	-2.333333	1.005051	37950	696.5	208,900	1199.00	111.5	38.5	52.5	97.5	16
	2	16	97.5	-5	1.015152	170950	502.5			6	6	10	10	
72	1	6	112.5	5.5	0.979478									
	1	6	37.5	129.5	0.325521									
	2	16	51.5	-0.777778	1.001684	36316.667	694.16667	208,433	1198.33	112.5	37.5	51.5	98.5	16
	2	16	98.5	-6.111111	1.018519	172116.67	504.16667			6	6	10	10	
tundaan total minimum								208,092						
throughput rata-rata maksimum									1202.00					

Pemilihan Waktu Hijau Optimal

Seperti telah disajikan pada Tabel L4-1, hasil simulasi untuk contoh kasus pada lampiran 2 menghasilkan 72 (tujuh puluh dua) waktu hijau hijau yang berhasil menghabiskan antrian pada siklus yang sama.

Untuk menentukan waktu hijau optimal, ke 72 hasil yang memenuhi terselesaikannya antrian pada waktu yang sama tersebut dibandingkan tundaan total dan throughput rata-ratanya. Pada contoh kasus di bawah, solusi nomor 20 merupakan solusi dengan *throughput* rata-rata maksimum, yaitu sebesar 1202 smp/jam dan solusi nomor 68 merupakan solusi dengan tundaan total minimum, yaitu sebesar 208,092 detik.

Jika kedua solusi tersebut dibandingkan, terlihat bahwa solusi no 68 dengan tundaan total minimum . (tundaan total :208.092 detik)memiliki kinerja tundaan total lebih baik secara signifikan dibandingkan solusi no 20. (tundaan total :259.000 detik).

Solusi waktu hijau optimum ditetapkan berdasarkan tundaan total minimum, sehingga solusi no.68 merupakan solusi optimal untuk contoh kasus.

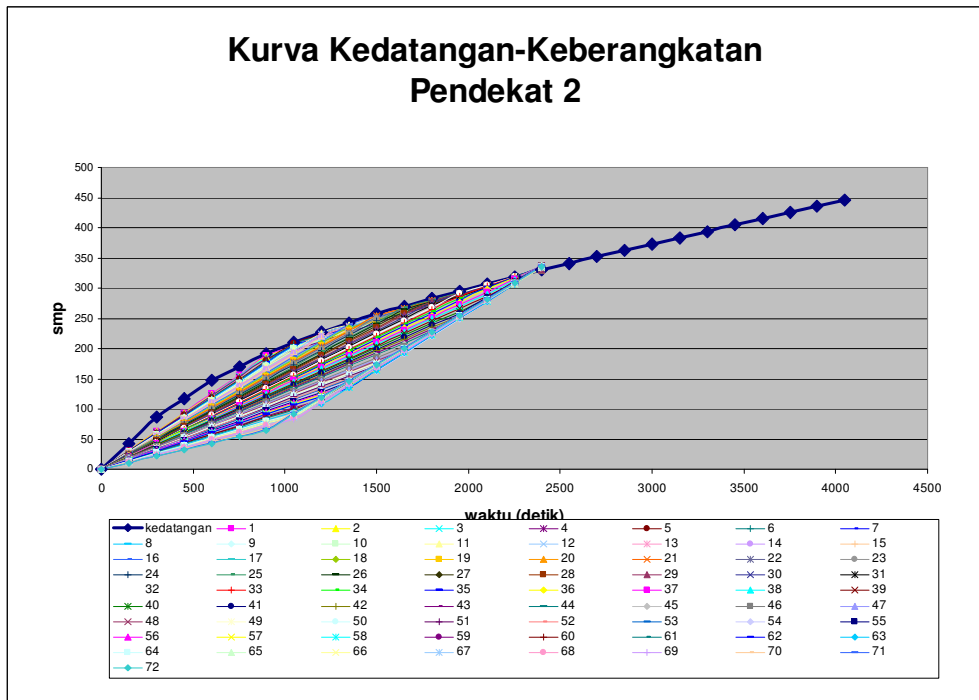
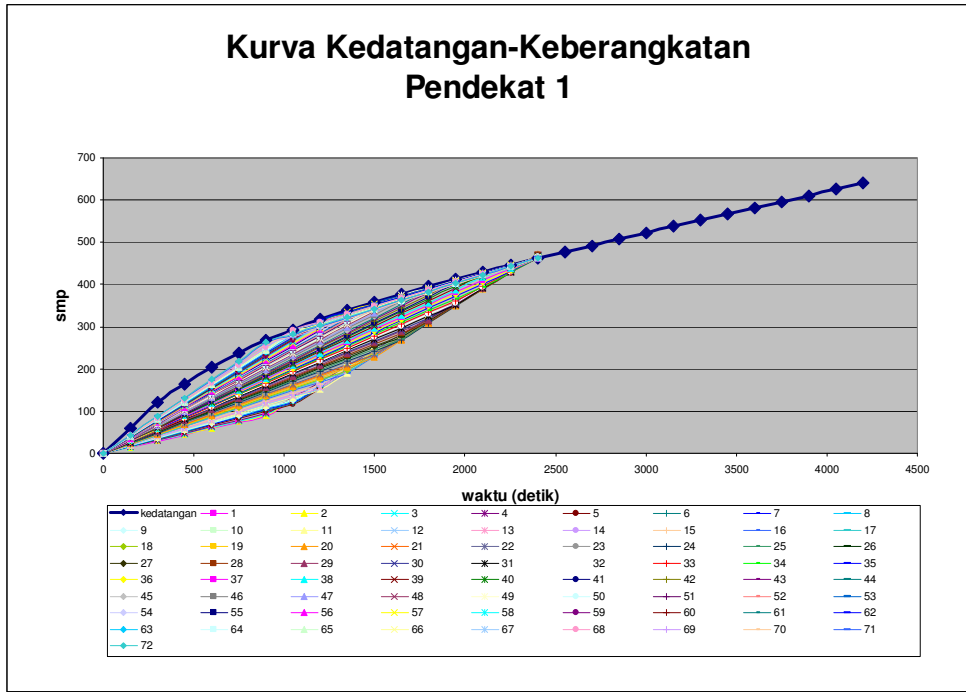
Tabel L4-2. Solusi Yang Menghasilkan Throughput Rata-rata Maksimum

solusi	1	2	3	4	5	6	7	total tundaan	throughput rata-rata
20	2	16	105	-9.33333	1.020202	213300	707	259,000	1202.00
	2	16	45.5	0	1	45700	495		

Tabel L4-3. Solusi Yang Menghasilkan Tundaan Total Minimum

solusi	1	2	3	4	5	6	7	total tundaan	throughput rata-rata
68	2	16	48.5	-0.38889	1.000842	35120.83	693.5833	208,092	1198.17
	2	16	102	-6.38889	1.01936	172970.8	504.5833		

Gambar L4-1 menjelaskan kedatangan kendaraan pada pendekat 1 dan pendekat 2 serta 72 kurva waktu hijau yang berhasil menghabiskan antrian pada siklus yang sama.



Gambar L4-1. Contoh Kombinasi Waktu Hijau Pada Pendekat 1 dan Pendekat 2 Yang Memenuhi Penyelesaian Antrian Pada Waktu Yang sama

