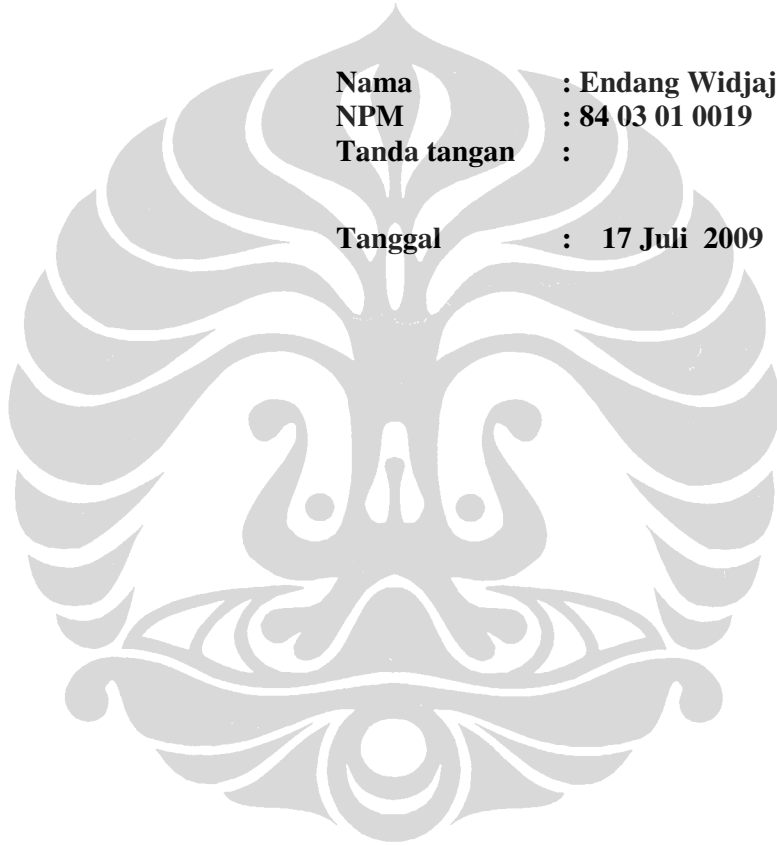


## HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS

**Disertasi ini adalah hasil karya saya sendiri,  
dan semua sumber baik yang dikutip maupun dirujuk  
telah saya nyatakan dengan benar.**

**Nama : Endang Widjajanti  
NPM : 84 03 01 0019  
Tanda tangan :**

**Tanggal : 17 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. Selesaiannya 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 arahannya.
2. Bapak Ir. Tri Tjahjono, MSc, PhD. selaku Ko-Promotor atas semua perhatian, bimbingan, saran dan arahannya.
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 ( $S_w$ ) 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.

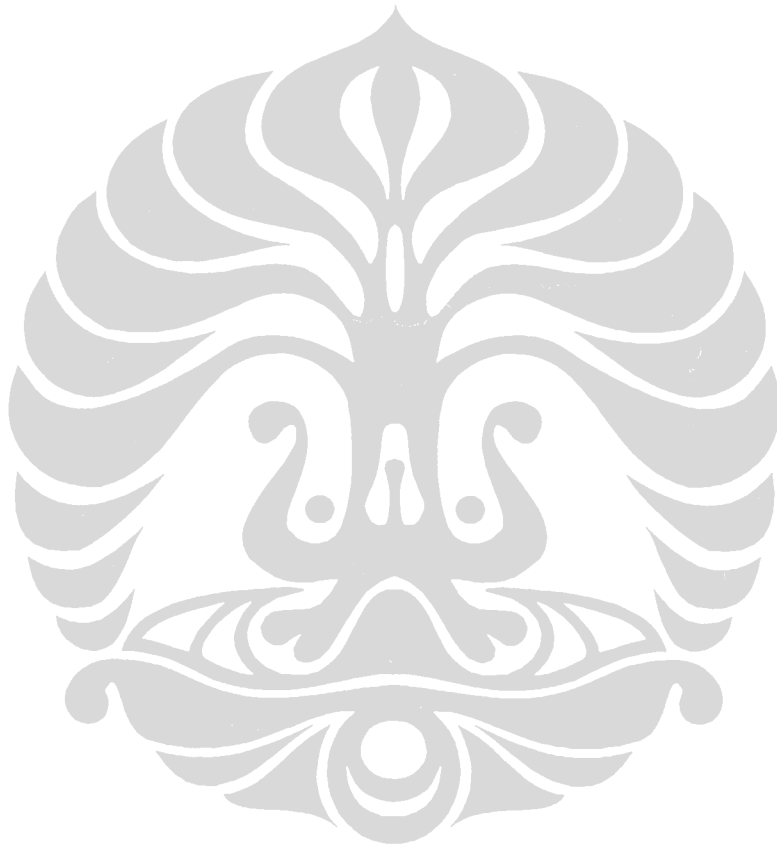
To disperse the queues of the two approaches in the same time, the study developed a new method by introducing a ratio between cumulative departure and cumulative arrival (R). The study showed that switch over of green time was effectively dispersed all the vehicles of the two approaches in the same 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

HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS	i
HALAMAN PENGESAHAN	ii
KATA PENGANTAR	iii
PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI KARYA ILMIAH	iv
ABSTRAK	v
DAFTAR ISI	vii
DAFTAR GAMBAR	ix
DAFTAR TABEL	xv
DAFTAR SINGKATAN	xvii
DAFTAR SIMBOL DAN RUMUS	xviii
DAFTAR LAMPIRAN	xxvi
<b>1. PENDAHULUAN</b>	<b>1</b>
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
<b>2. KONTROL LALU LINTAS DENGAN APILL DI LPRJ PADA KONDISI ARUS LEWAT JENUH</b>	<b>7</b>
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 Arahan Metode Penelitian	32
<b>3. METODOLOGI PENDEKATAN</b>	<b>40</b>
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 Throughput</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
<b>4. HASIL PENELITIAN</b>	<b>88</b>
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
<b>5. PEMBAHASAN PENELITIAN</b>	<b>160</b>
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
<b>6 KESIMPULAN DAN SARAN PENELITIAN</b>	<b>179</b>
6.1. Kesimpulan	179
6.2. Saran Penelitian	181
<b>DAFTAR PUSTAKA</b>	<b>184</b>
<b>LAMPIRAN</b>	<b>189</b>

## 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

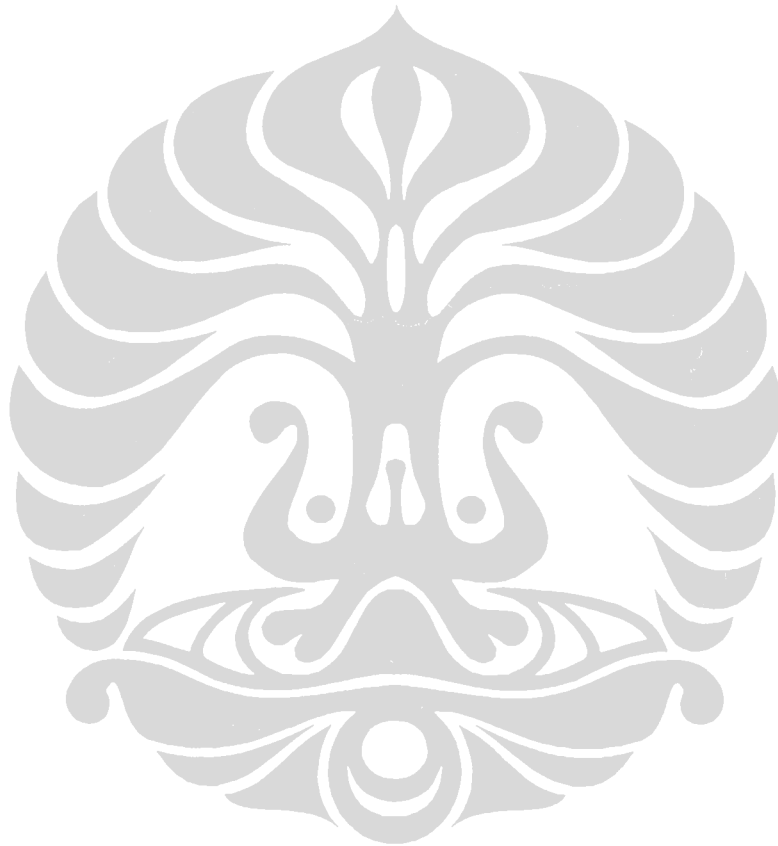
Tabel 2.1.	Ukuran dan Jarak Pemasangan Rambu Zona Keselamatan	9
Tabel 2.2.	Standar Panjang Taper	10
Tabel 2.3.	Pemilihan Metode Kontrol Lalu Lintas	11
Tabel 2.4.	Kriteria Kontrol Lalu Lintas pada LPRJ	12
Tabel 2.5.	Data Kedatangan Kendaraan Kumulatif	33
Tabel 2.6.	Perbandingan Model Tundaan Minimum Diskrit 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

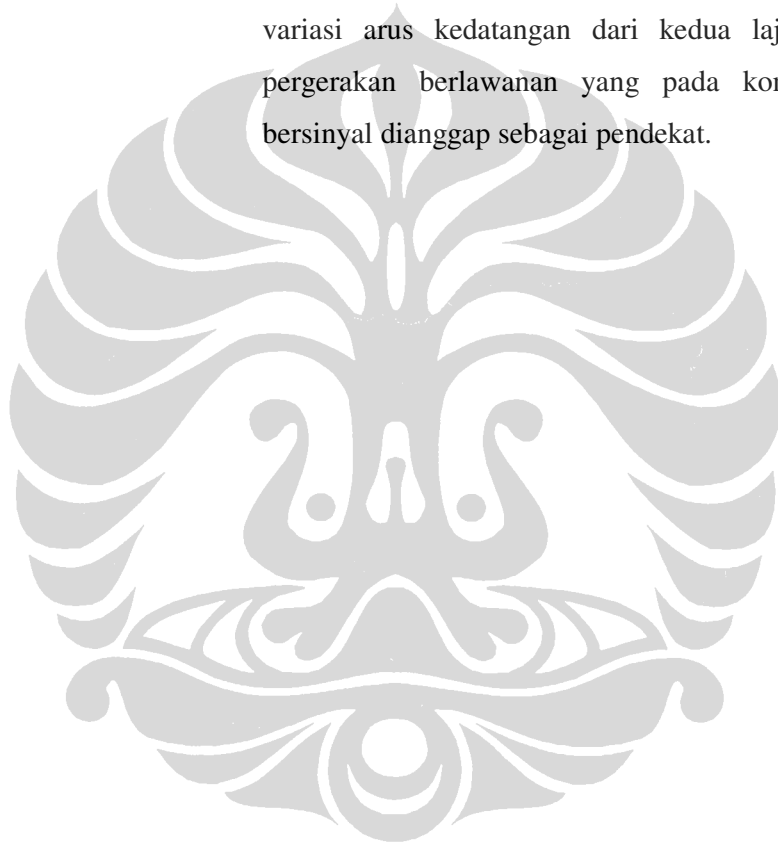


Tabel 5.7.	Persamaan antara <i>Throughput</i> Rata-rata Dengan Panjang LPRJ pada Periode Pengamatan 240 Detik dan $c=240$ Detik	175
Tabel 5.8	Periode Lewat Jenuh Dengan Panjang LPRJ pada Periode Pengamatan 240 Detik dan $c=240$ Detik	178



## 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 pendekatan satu, dua, , detik
$R_{a1}, R_{a2}$	= Waktu <i>clearance</i> merah untuk pendekatan satu dan dua, detik
$G_{1max}$	= Waktu hijau maksimum pada pendekatan satu, detik
$G_{2max}$	= Waktu hijau maksimum pada pendekatan 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 <sup>2</sup>
$G$	= Percepatan, sebesar gaya gravitasi 10 m/detik <sup>2</sup>
$g$	= Kemiringan pendekatan (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
$T$	= Periode lewat jenuh, detik
$\gamma_i$	= 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
$\gamma_1, \gamma_2$	= 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> $\bar{g}$
$\delta$	= 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- $j$ .
$\gamma_1, \gamma_2$	= 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)
$\gamma_{ij}$	= 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

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

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 kontrol lalu lintas bersinyal

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

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  $\Psi(\bar{g})$

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

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

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

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

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

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

Rumus 2.29. Solusi Model *Maximum Throughput* untuk menentukan durasi  $g_j^*$  dari fase  $j$ :



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

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- $j$

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

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	190
LAMPIRAN 2	Contoh Hasil Simulasi	196
LAMPIRAN 3	Penjelasan Hasil Simulasi	204
LAMPIRAN 4	Contoh Proses Pemilihan Waktu Hijau Optimum Dari Solusi Yang Memenuhi Syarat	209

