



UNIVERSITAS INDONESIA

**ANALISIS IMPLEMENTASI PELARANGAN BELOK KIRI
LANGSUNG TERHADAP KINERJA LALU LINTAS PADA KAKI
PENDEKAT PERSIMPANGAN BERSINYAL**

TESIS

**FERY SUBEKTI
1006788025**

**FAKULTAS TEKNIK
PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
KEKHUSUSAN TRANSPORTASI
DEPOK
JULI 2012**



UNIVERSITAS INDONESIA

**ANALISIS IMPLEMENTASI PELARANGAN BELOK KIRI
LANGSUNG TERHADAP KINERJA LALU LINTAS PADA KAKI
PENDEKAT PERSIMPANGAN BERSINYAL**

TESIS

Diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Magister Teknik

**FERY SUBEKTI
1006788025**

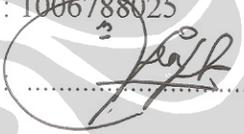
**FAKULTAS TEKNIK
PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
KEKHUSUSAN TRANSPORTASI
DEPOK
JULI 2012**

HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS

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

Nama : FERY SUBEKTI

NPM : 1006788025

Tanda Tangan : 

Tanggal : 6 Juli 2012

HALAMAN PENGESAHAN

Tesis ini diajukan oleh :
Nama : FERY SUBEKTI
NPM : 1006788025
Program Studi : Teknik Sipil
Judul Tesis : Analisis Implementasi Pelarangan Belok Kiri
Langsung Terhadap Kinerja lalu Lintas Pada
Kaki Pendekat Persimpangan Bersinyal

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

DEWAN PENGUJI

Pembimbing : Ir. Heddy R. Agah, M.Eng

Pembimbing : Dr. Ir. Nahry, M.T.

Penguji : Dr. Ir. Tri Tjahjono, M.Sc

Penguji : Ir. Alan Marino, M.Sc

Penguji : Ir. Martha Leni Siregar

Ditetapkan di : Depok

Tanggal : 6 Juli 2012

KATA PENGANTAR/ UCAPAN TERIMA KASIH

Puji syukur saya panjatkan kepada Allah SWT, karena atas berkat, dan rahmat-Nya, saya dapat menyelesaikan tesis ini. Penulisan tesis ini dilakukan dalam rangka memenuhi salah satu syarat untuk mencapai gelar Megister Teknik Jurusan Teknik Sipil pada Fakultas Teknik Universitas Indonesia. Saya menyadari bahwa, tanpa bantuan dan bimbingan dari berbagai pihak, dari masa perkuliahan sampai pada penyusunan tesis ini, sangatlah sulit bagi saya untuk menyelesaikannya. Oleh karena itu saya mengucapkan terimakasih kepada:

- (1) Ir. Heddy R. Agah, M.Eng, selaku dosen pembimbing yang telah menyediakan waktu, tenaga, pikiran untuk mengarahkan saya dalam penyusunan tesis ini.
- (2) Dr. Ir. Nahry, M.T, selaku dosen pembimbing yang telah menyediakan waktu, tenaga, pikiran untuk mengarahkan saya dalam penyusunan tesis ini.
- (3) Seluruh Dosen dan staf pengajar Program Studi Teknik Sipil, yang telah memberikan banyak pengetahuan dan ilmu.
- (4) Pimpinan PT Ara Pratama beserta seluruh stafnya di Bekasi, yang telah banyak membantu dalam memperoleh data yang saya perlukan.
- (5) Orang Tua, Istri dan anak yang telah memberikan dukungan dan semangat sehingga tesis ini dapat terselesaikan.
- (6) Teman- teman program magister teknik sipil angkatan 2010.

Akhir kata, saya berharap Allah SWT berkenan membalas segala kebaikan semua pihak yang telah membantu. Semoga tesis ini memberikan manfaat bagi pengembangan ilmu pengetahuan selanjutnya.

Depok, 6 Juli 2012

Penulis

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

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

Nama : FERY SUBEKTI
NPM : 1006788025
Program Studi : Transportasi
Departemen : Teknik Sipil
Fakultas : Teknik
Jenis Karya : Tesis

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 :

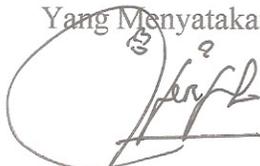
ANALISIS IMPLEMENTASI PELARANGAN BELOK KIRI LANGSUNG TERHADAP KINERJA LALU LINTAS PADA KAKI PENDEKAT PERSIMPANGAN BERSINYAL

beserta perangkat yang ada (jika diperlukan). Dengan Hak Bebas Royalti Noneksklusif ini Universitas Indonesia berhak menyimpan, mengalihmedia/formatkan, Mengelola dalam bentuk pangkalan data (*database*), merawat, dan mempublikasikan tugas akhir saya tanpa meminta ijin dari 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 : 6 Juli 2012

Yang Menyatakan



(FERY SUBEKTI)

ABSTRAK

Nama : FERY SUBEKTI
Program Studi : Transportasi
Judul : Analisis Implementasi Pelarangan Belok Kiri Langsung Terhadap Kinerja Lalu Lintas Pada Kaki Pendekat Persimpangan Bersinyal

Implementasi pelarangan belok kiri langsung (*NLTOR*) pada persimpangan bersinyal tertuang pada UU No 22 Tahun 2009 Tentang Lalu Lintas dan Angkutan Jalan pasal 112 ayat 3. Permasalahan yang timbul adalah belum adanya petunjuk teknis terkait penerapan *NLTOR*. Penelitian ini bertujuan untuk melakukan analisis akibat arus belok kiri pada berbagai tingkat arus di kaki pendekat simpang bersinyal dan menentukan batas efisien komposisi arus lalu lintas pada pengaturan belok kiri langsung (*LTOR*) dengan indikator waktu tundaan kendaraan, panjang antrian kendaraan, dan waktu tundaan pejalan kaki menyeberang. Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah melakukan simulasi antara kondisi *NLTOR* dan *LTOR* dengan menggunakan model MKJI dan perangkat lunak *VISSIM*. Hasil *uji chi square* menunjukkan model MKJI paling mendekati dengan hasil observasi lapangan. Hasil penelitian menunjukkan pada kondisi volume 500 – 1000 smp/jam dan lebar pendekat 5,5 meter, kinerja persimpangan pada kondisi *NLTOR* lebih baik dari pada kondisi *LTOR*. Selain itu, kondisi batas penerapan *LTOR* untuk parameter tundaan dan panjang antrian kendaraan adalah sebagai berikut: Kondisi I (untuk persentase volume belok kiri 0-25 %) penerapan *LTOR*; Kondisi II (persentase volume belok kiri 25-65 %) pengaturan *LTOR* diperbolehkan dengan syarat dilakukan upaya manajemen persimpangan; Kondisi III (persentase volume belok kiri 65-100 %) penerapan *NLTOR*. Kondisi batas untuk parameter tundaan pejalan kaki adalah Kondisi I (persentase volume belok kiri 0-65 %) penerapan *LTOR*; Kondisi II (persentase volume belok kiri 65-100 %) penerapan *NLTOR*.

Kata kunci: Pelarangan Belok Kiri Langsung (*NLTOR*), Belok Kiri Langsung (*LTOR*), Kinerja Persimpangan, Efektifitas

ABSTRACT

Nama : FERY SUBEKTI
Program Studi : Transportasi
Judul : Analysis the implementations of No-Left Turn on Red (NLTOR) to the traffic Performance at Approach Legs of Signalized Intersection

The implementations of the No-Left turn on Red (NLTOR) at the signalized intersection is contained in Act No. 22 of 2009 about Traffic and Road Transport article 112 paragraph 3. The problems is technical guidance of the implementation has not issued yet. This research is aim to conduct an analysis of the effect of turn left at traffic different levels of the flow at the approaches of the signalized intersection and to define the limits of traffic flow settings turn left on red with the indicator delay time composition, length vehicles queue and pedestrian crossing time delay. Traffic flow is simulated between various condition of the NLTOR with LTOR using MKJI model and VISSIM software. Chi square result shows that the calculation model is the closest to the results of the observation field. The results show that on volume 500-1000 smp/hour and 5.5 meters width, the performance of NLTOR are better than LTOR. The boundary conditions for the implementation of LTOR for the delay parameter and the length of the queue of vehicles are: Condition I (0-25% volume of left turn traffic) LTOR implementation; Condition II (25-65% volume of left turn traffic) LTOR is allowed subject to intersection management; Condition III (65-100% volume of left turn traffic) implementation of the NLTOR. The boundary conditions the delay parameter for pedestrians are: Condition I (0-65% volume of left turn traffic) LTOR implementation; Conditions II (65-100% volume of left turn traffic) NLTOR implementation.

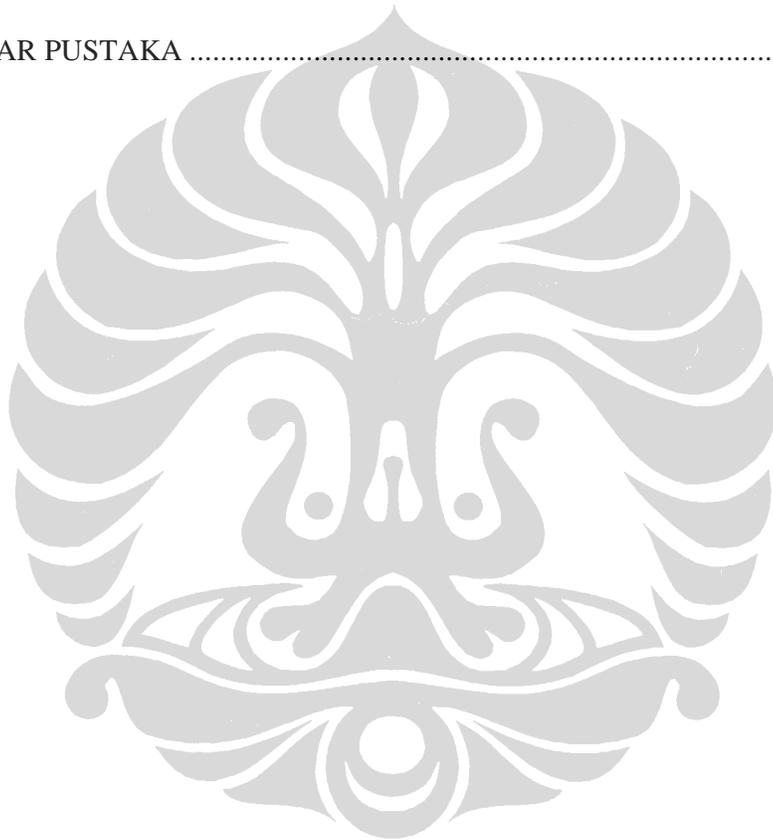
Key Words : No-Left Turn on Red (NLTOR), Left Turn on Red (LTOR), Intersection Performance, Efektivennes

DAFTAR ISI

Halaman Judul	
Halaman Pernyataan Orisinalitas.....	i
Halaman Pengesahan	ii
Kata Pengantar	iii
Halaman Pernyataan Persetujuan Publikasi	iv
Abstrak	v
Daftar Isi	vi
Daftar Gambar	ix
Daftar Tabel	xi
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1. Latar Belakang.....	1
1.2. Perumusan Masalah	3
1.3. Hipotesis.....	4
1.4. Maksud dan Tujuan.....	4
1.5. Manfaat Penelitian.....	5
1.6. Pembatasan Masalah.....	5
BAB II STUDI PUSTAKA	7
2.1. Karakteristik Arus Lalu Lintas.....	7
2.2. Simpang Bersinyal	10
2.2.1. Penentuan Lebar Efektif Pendekat Simpang Bersinyal	13
2.2.2. Kapasitas Pendekat Simpang Bersinyal (MKJI Tahun 1997).....	15
2.2.3. Arus Jenuh	16
2.2.4. Antrian Kendaraan Pada Pendekat Simpang Bersinyal.....	27
2.2.5. Tundaan Kendaraan Pada Pendekat Simpang Bersinyal	29
2.2.6. Waktu Tundaan Pejalan Kaki Menyeberang	31
2.3. Validasi Model Simpang Bersinyal dan Uji Statistik.....	31
2.4. Penelitian Terdahulu Terkait Simpang Bersinyal	33
2.5. Program VISSIM	35
BAB III METODE PENELITIAN	39
3.1. Kerangka Pemikiran.....	39
3.2. Metode Pengumpulan Data.....	42

3.2.1. Data Primer	42
3.2.2. Data Sekunder	45
3.3. Kondisi Lokasi Penelitian.....	45
BAB IV PENGOLAHAN DATA.....	52
4.1. Penyajian Data	52
4.1.1. Data Geometrik, Pengaturan Lalu Lintas dan Kondisi Lingkungan Lokasi Penelitian	52
4.1.2. Kondisi Arus Lalu Lintas.....	55
4.1.3. Parameter Arus Lalu Lintas	57
4.1.3.1. Waktu Tundaan Lalu Lintas.....	57
4.1.3.2. Panjang Antrian Lalu Lintas	59
4.1.3.3. Volume dan Waktu Tundaan Pejalan Kaki Menyeberang....	60
4.2. Analisis Persimpangan Dengan Metode MKJI.....	61
4.2.1. Analisis Antrian Lalu Lintas	62
4.2.2. Waktu Tundaan Lalu Lintas.....	63
4.2.3. Analisis Waktu Tundaan Pejalan Kaki Menyeberang.....	64
4.3. Validasi dengan Uji Chi-Square	65
4.3.1. Model MKJI Dengan Hasil Survei Lapangan.....	66
4.3.1.1. Waktu Tundaan Kendaraan.....	66
4.3.1.2. Panjang Antrian Kendaraan	67
4.3.1.3. Waktu Tundaan Pejalan Kaki Menyeberang	68
4.3.2. Validasi Software Vissim dengan hasil survei lapangan.....	69
BAB V ANALISA KINERJA PERSIMPANGAN	74
5.1. Analisa	74
5.1.1. Variabel Yang Mempengaruhi Kinerja Persimpangan Terkait Pelarangan Belok Kiri	74
5.1.1.1. Lebar Pendekat (W_A).....	74
5.1.1.2. Jumlah Lajur.....	76
5.1.1.3. Tundaan Pejalan Kaki Untuk Menyeberang	79
5.1.1.4. Arus Belok Kiri	80
5.2. Simulasi Kondisi LTOR dan NLTOR	81
5.2.1. Simulasi I (Lebar Pendekat = 5,5 meter, volume 500 smp/jam).....	82
5.2.2. Simulasi II (Lebar Pendekat = 5,5 meter, volume 700 smp/jam)	85
5.2.3. Simulasi III (Lebar Pendekat = 5,5 meter, volume 900 smp/jam)	88

5.2.4. Simulasi IV (Lebar Pendekat = 5,5 meter, volume 1000 smp/jam)....	91
5.3.Implementasi Boleh Belok Kiri Langsung (LTOR)	96
5.3.1. Skenario I Dengan Simulasi Penambahan Lebar Masuk (Wmasuk) ..	96
5.3.2. Skenario II Dengan Penentuan Sistem Cluster (kelompok pada grafik kinerja dengan LTOR.....	101
5.3.2.1. Penentuan Kelas Untuk Tundaan dan Panjang Antrian.....	104
5.3.2.2. Penentuan Kelas Untuk Tundaan Pejalan Kaki.....	109
BAB VI KESIMPULAN DAN SARAN	112
DAFTAR PUSTAKA	116



DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Penentuan Lebar Efektif.....	14
Gambar 2.2 Arus Jenuh Yang Diamati Per Selang Waktu Enam Detik	17
Gambar 2.3 Model Dasar Untuk Arus Jenuh (Akcelik 1989).....	18
Gambar 2.4 Faktor Penyesuaian Untuk Kelandaian	21
Gambar 2.5 Faktor Penyesuaian Untuk Pengaruh Parkir.....	22
Gambar 2.6 Faktor Penyesuaian Untuk Belok Kanan	24
Gambar 2.7 Faktor Penyesuaian Untuk Belok Kiri	25
Gambar 2.8 Perhitungan jumlah antrian (NQ max) dalam smp	29
Gambar 3.1 Bagan Alir Penelitian	41
Gambar 3.2 Visualisasi Persimpangan Pondok Pinang	46
Gambar 3.3 Persimpangan Pondok Pinang	47
Gambar 3.4 Pengaturan Fase di Persimpangan Pondok Pinang.....	48
Gambar 3.5 Visualisasi Persimpangan Plasa Bintaro	49
Gambar 3.6 Persimpangan Plasa Bintaro	50
Gambar 3.7 Pengaturan Fase di Persimpangan Plasa Bintaro.....	51
Gambar 4.1.a Gambar Geometrik Simpang Plasa Bintaro.....	53
Gambar 4.1.b Gambar Geometrik Simpang Pondok Pinang.....	54
Gambar 4.2 Grafik Fluktuasi Volume Lalu Lintas	56
Gambar 5.1 Gambar Sketsa Penentuann Lebar Efektif (We).....	75
Gambar 5.2.a Tipe Pendekat 2 Lajur Tanpa Lajur Khusus Belok Kiri.....	77
Gambar 5.2.b Tipe Pendekat 2 Lajur Dengan Lajur Khusus Belok Kiri	78
Gambar 5.2.c Tipe Pendekat 3 Lajur Tanpa Lajur Khusus Belok Kiri.....	78
Gambar 5.2.d Tipe Pendekat 3 Lajur Dengan Lajur Khusus Belok Kiri	79
Gambar 5.3 Grafik Perbandingan Kinerja LTOR dan NLTOR Simulasi I.....	84
Gambar 5.4 Grafik Perbandingan Kinerja LTOR dan NLTOR Simulasi II.....	87
Gambar 5.5 Grafik Perbandingan Kinerja LTOR dan NLTOR Simulasi III.....	90
Gambar 5.6 Grafik Perbandingan Kinerja LTOR dan NLTOR Simulasi IV.....	93
Gambar 5.7 Grafik Perbandingan Tundaan Kendaraan Kondisi LTOR pada variasi volume.....	94
Gambar 5.8 Grafik Perbandingan Panjang Antrian Kendaraan Kondisi LTOR pada variasi volume.....	95

Gambar 5.9 Grafik Perbandingan Tundaan Pejalan Kaki Kondisi LTOR pada variasi volume.....	95
Gambar 5.10 Grafik Simulasi Penambahan Lebar Masuk Pada Kondisi LTOR terhadap Kinerja Kondisi NLTOR Eksisting Untuk Kinerja Tundaan.....	98
Gambar 5.11 Grafik Simulasi Penambahan Lebar Masuk Pada Kondisi LTOR terhadap Kinerja Kondisi NLTOR Eksisting Untuk Kinerja Antrian.....	99
Gambar 5.12 Grafik Simulasi Penambahan Lebar Masuk Pada Kondisi LTOR terhadap Kinerja Kondisi NLTOR Eksisting Untuk Kinerja Tundaan Pejalan Kaki.....	100
Gambar 5.13 Perubahan Desain Geometrik Dengan Penambahan Lebar Masuk Sebesar 2,75 Meter	101
Gambar 5.14 Grafik Perubahan Nilai (α) Pada Kondisi LTOR dan NLTOR.....	103
Gambar 5.15 Grafik Dasar Penentuan Kelas Pada Kondisi LTOR.....	104
Gambar 5.16 Grafik Kelas Untuk Kinerja Tundaan dan Panjang Antrian Pada Kondisi LTOR.....	108
Gambar 5.17 Grafik Kelas Untuk Kinerja Tundaan Pejalan Kaki Pada Kondisi LTOR..	111

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 EMP untuk masing – masing tipe pendekat.....	9
Tabel 2.2 Faktor Penyesuaian Ukuran Kota.....	20
Tabel 2.3 Faktor Hambatan Samping.....	21
Tabel 4.1 Data Geometrik Simpang Lokasi Penelitian	52
Tabel 4.2 Data Pengaturan Sinyal APPIL Lokasi Penelitian	54
Tabel 4.3 Kondisi Lingkungan Sekitar Lokasi Penelitian.....	55
Tabel 4.4 Periode Jam Puncak (Peak Hour).....	57
Tabel 4.5 Hasil Survai Tundaan pada periode jam 07.00-07.30 lokasi Penelitian.....	58
Tabel 4.6 Hasil Survai Panjang Antrian periode jam 07.00-07.30 lokasi Penelitian.....	59
Tabel 4.7 Hasil Survai Tundaan Pejalan Kaki pada periode jam 07.00-07.30.....	61
Tabel 4.8 Hasil Perhitungan Panjang Antrian Pendekat Lokasi Penelitian	62
Tabel 4.9 Hasil Perhitungan Tundaan Pendekat Simpang Pondok Pinang.....	63
Tabel 4.10 Hasil Perhitungan Tundaan Pejalan Kaki Pada Lokasi Penelitian	65
Tabel 4.11 Perhitungan Chi Square Untuk Validasi Model Tundaan Lokasi Penelitian.	66
Tabel 4.12 Perhitungan Chi Square Untuk Validasi Model Panjang Antrian Lokasi Penelitian.....	67
Tabel 4.13 Perhitungan Chi Square Untuk Validasi Model Tundaan Pejalan Kaki Lokasi Penelitian.....	68
Tabel 4.14 Hasil Kalibrasi dan Perubahan Parameter.....	70
Tabel 4.15 Perhitungan Chi Square untuk Validasi Model Antrian Hasil VISSIM.....	72
Tabel 4.16 Perhitungan Chi Square untuk Validasi Model Tundaan Hasil VISSIM.....	72
Tabel 5.1 Rekapitulasi Simulasi LTOR dan NLTOR Dengan Volume 500 smp/jam.....	82
Tabel 5.2 Rekapitulasi Simulasi LTOR dan NLTOR Dengan Volume 700 smp/jam.....	85
Tabel 5.3 Rekapitulasi Simulasi LTOR dan NLTOR Dengan Volume 900 smp/jam.....	88
Tabel 5.4 Rekapitulasi Simulasi LTOR dan NLTOR Dengan Volume 1000 smp/jam...	91
Tabel 5.5 Simulasi Penambahan Lebar Masuk Kondisi LTOR Dibandingkan Dengan Kondisi NLTOR Eksisting.....	97
Tabel 5.6 Tabel Dasar Untuk Penentuan Kelas Pada Kondisi LTOR.....	105

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Meningkatnya jumlah kendaraan yang tidak terkendali saat ini menimbulkan permasalahan transportasi secara umum dan lalu lintas pada khususnya. Semakin tinggi tingkat mobilitas warga suatu kota, akan semakin tinggi juga tingkat perjalanannya. Jika peningkatan perjalanan ini tidak diikuti dengan peningkatan prasarana transportasi yang memadai, maka akan terjadi ketidakseimbangan antara *demand* dan *supply* yang akhirnya akan menimbulkan suatu ketidak-lancaran dalam mobilitas yaitu berupa kemacetan. Kemacetan lalu lintas di wilayah perkotaan bukan merupakan hal yang asing lagi yang dapat terjadi di suatu ruas ataupun persimpangan jalan. Persimpangan tanpa pengaturan yang terletak pada suatu bidang yang sama akan menimbulkan permasalahan berupa konflik antar kendaraan dari beberapa arah kaki persimpangan yang apabila tidak dilakukan pengendalian persimpangan dengan baik dapat menyebabkan terjadinya kerawanan kecelakaan, tundaan, antrian sehingga akan timbul kemacetan.

Salah satu cara yang biasa dipergunakan untuk mengendalikan arus lalu lintas pada persimpangan adalah dengan menggunakan Alat Pemberi Isyarat Lalu Lintas (APILL) yang dapat mengendalikan pengaliran arus lalu lintas melalui penggunaan sinyal dengan lampu tiga warna (merah, kuning, hijau) yang digunakan untuk memisahkan lintasan dari gerakan-gerakan lalu lintas yang saling bertentangan dalam dimensi waktu serta memberikan hak jalan secara bergantian. Optimalisasi pengendalian persimpangan dapat ditambah dengan pengaturan khusus seperti pengaturan arus lalu lintas belok kiri pada kaki simpang, seperti belok kiri langsung (Left Turn On Red), belok kiri tidak langsung (No-Left Turn On Red) dan lajur khusus kanalisasi arus lalu lintas.

Pelarangan belok kiri langsung tersebut diatur melalui UU NO. 22 tahun 2009 tentang Lalu Lintas dan Angkutan Jalan pada paragraf 4 mengenai belokan atau simpangan. Pada pasal 112 Ayat 3 berbunyi “Pada persimpangan Jalan yang dilengkapi Alat Pemberi Isyarat Lalu Lintas, pengemudi kendaraan dilarang langsung berbelok kiri, kecuali ditentukan lain oleh Rambu Lalu Lintas atau Alat Pemberi Isyarat Lalu Lintas.

Salah satu alasan dikeluarkannya peraturan tersebut yaitu karena volume kendaraan di perkotaan semakin banyak, sementara pertumbuhan pembangunan infrastruktur transportasinya belum maksimal. Pelarangan belok kiri langsung yang dimaksudkan dalam UU tersebut diharapkan dapat meningkatkan kinerja pengendalian lintas lintas menjadi semakin efektif. Untuk itu, dalam proses penerapan peraturan tersebut sangat perlu dilakukan evaluasi kinerja lalu lintas oleh pihak yang terkait.

Selain itu, keselamatan pejalan kaki yang menyeberang di persimpangan juga merupakan faktor yang perlu diperhatikan. Pelarangan belok kiri langsung tersebut diharapkan dapat memberikan kesempatan bagi pejalan kaki untuk menyeberang dengan aman dan selamat. Maka dari itu, dalam pengendalian persimpangan tidak dari faktor lalu lintasnya saja yang perlu diperhatikan melainkan faktor pejalan kaki juga harus diperhatikan.

Pada pelarangan belok kiri langsung, lajur paling kiri tidak lagi dikhususkan untuk kendaraan yang akan belok kiri saja, tetapi juga dapat digunakan oleh kendaraan yang akan lurus dan belok kanan. Dengan kata lain, kapasitas jalan atau lengan di jalur tersebut menjadi lebih besar dibandingkan ketika aturan belok kiri jalan terus. Sedangkan menurut pendapat masyarakat penerapan peraturan tersebut pada umumnya dianggap terlalu mengada-ada, karena menurut mereka belok kiri langsung itu justru mengurangi kemacetan dan apabila pelarangan belok kiri langsung diterapkan akan menambah kemacetan di setiap persimpangan (Pos Kota, Kamis 22/10/2009).

Berdasarkan pemaparan tersebut maka permasalahan yang timbul adalah apakah pelarangan belok kiri langsung (N-LTOR) tidak menimbulkan

Universitas Indonesia

permasalahan pada persimpangan. Di sisi lain, penerapan pelarangan belok kiri langsung berpotensi menambah jumlah kendaraan yang mengantri pada periode lampu merah sehingga dibutuhkan kapasitas yang lebih besar pada kaki pendekat persimpangan serta dalam hal penerapan belum terdapat ketentuan yang jelas terkait kondisi simpang yang bagaimana yang harus diterapkan pelarangan belok kiri langsung (N-LTOR).

Kondisi pengaturan pergerakan arus belok kiri pada persimpangan dengan alat pemberi isyarat lalu lintas yang menggunakan pengaturan belok kiri langsung (LTOR) saat ini, pada kondisi lalu lintas tertentu dapat meningkatkan kinerja persimpangan namun begitu juga sebaliknya. Hal tersebut menunjukkan bahwa tidak dalam semua kondisi volume lalu lintas, pengaturan belok kiri langsung secara efektif dapat diterapkan. Oleh karena itu perlu dilakukan suatu penelitian tentang keefektifan penerapan pelarangan belok kiri langsung maupun belok kiri langsung pada pendekat persimpangan tersebut ditinjau dari kondisi arus lalu lintas dan tundaan pejalan kaki yang menyeberang di kaki pendekat persimpangan.

Berdasarkan permasalahan tersebut ditetapkan judul penelitian tentang **“Analisis Implementasi Pelarangan Belok Kiri Langsung Terhadap Kinerja Lalu Lintas Pada Kaki Pendekat Persimpangan Bersinyal”**.

1.1. Perumusan Masalah

Berdasarkan permasalahan tentang adanya pengaruh penerapan pelarangan belok kiri langsung terhadap kinerja di kaki pendekat persimpangan, maka perumusan masalah penelitian yang akan dijawab dalam penelitian ini adalah :

1. Bagaimana dampak penerapan pelarangan belok kiri langsung (N-LTOR) terhadap kinerja lalu lintas (waktu tundaan kendaraan, panjang antrian kendaraan, dan waktu tundaan pejalan kaki menyeberang) pada kaki pendekat persimpangan dibandingkan dengan kondisi belok kiri langsung (LTOR)?

2. Bagaimana kondisi komposisi arus lalu lintas yang sesuai untuk penerapan pelarangan belok kiri langsung pada persimpangan bersinyal?

1.2. Hipotesis

Hipotesis penelitian ini adalah :

H_i : Penerapan pelarangan belok kiri langsung (N-LTOR) akan memperbaiki kinerja lalu lintas seperti waktu tundaan kendaraan, panjang antrian kendaraan, dan waktu tundaan pejalan kaki menyeberang pada kondisi eksisting simpang bersinyal (Kondisi LTOR yang ditinjau).

H_o : Penerapan pelarangan belok kiri langsung (N-LTOR) tidak memperbaiki kinerja lalu lintas seperti waktu tundaan kendaraan, panjang antrian kendaraan, dan waktu tundaan pejalan kaki menyeberang pada kondisi eksisting simpang bersinyal (Kondisi LTOR yang ditinjau).

1.3. Maksud dan Tujuan

Berdasarkan perumusan masalah tersebut, penelitian ini dilakukan dengan maksud untuk mengetahui perbandingan kinerja pada kaki pendekat simpang bersinyal dengan pelarangan belok kiri langsung (N-LTOR) dan belok kiri langsung (LTOR) dengan indikator kinerja waktu tundaan kendaraan, panjang antrian kendaraan, dan waktu tundaan pejalan kaki menyeberang.

Tujuan dari penelitian ini adalah :

1. Melakukan analisis akibat arus belok kiri terhadap waktu tundaan kendaraan, panjang antrian kendaraan, dan waktu tundaan pejalan kaki menyeberang pada berbagai tingkat arus di kaki pendekat simpang bersinyal.

Universitas Indonesia

2. Menentukan batas efisien komposisi arus lalu lintas pada pengaturan belok kiri langsung dengan indikator waktu tundaan kendaraan, panjang antrian kendaraan, dan waktu tundaan pejalan kaki menyeberang.

1.4. Manfaat Penelitian

Hasil dari penelitian ini diharapkan dapat dijadikan sebagai pedoman terhadap penerapan kebijakan dan peraturan lalu lintas terutama yang mengatur ketentuan tentang karakteristik persimpangan yang sesuai dilakukan penerapan pelarangan belok kiri langsung dilihat dari kondisi komposisi arus lalu lintas dan pejalan kaki yang menyeberang. Selain itu penelitian ini juga diharapkan dapat menjadi salah satu kajian akademis dan aplikasi ilmu pengetahuan di bidang transportasi yang mungkin dapat dikembangkan pada penelitian lanjutan pada lokasi dan waktu yang berbeda.

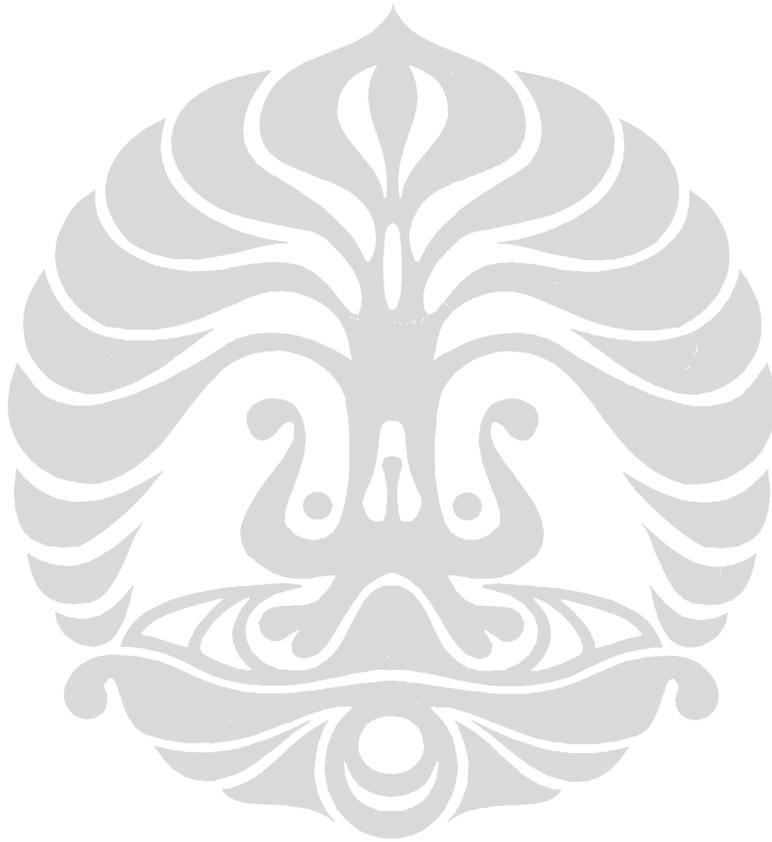
1.5. Pembatasan Masalah

Penelitian dilakukan terhadap 2 buah simpang bersinyal dengan spesifikasi:

- a. Tipe simpang 4 sebidang dengan pengendalian Alat Pemberi Isyarat Lalu Lintas (APILL).
- b. Pendekat kaki persimpangan dengan type P yaitu keberangkatan tanpa konflik antara gerakan lalu lintas belok kanan dan lurus.
- c. Geometrik persimpangan lokasi penelitian mempunyai karakteristik tanpa pulau lalu lintas.
- d. Jumlah lajur pada setiap kaki pendekat persimpangan adalah 2 lajur.
- e. Tidak terdapat bus stop dan parkir badan jalan radius 50 meter dari kaki pendekat persimpangan.
- f. Pengaturan persimpangan dengan 4 (empat) fase.

Waktu pengambilan data arus lalu lintas dilakukan pada hari kerja (Senin-Kamis) dengan periode survai selama 12 jam (06.00 – 18.00 WIB). Sedangkan

pengambilan data waktu tundaan kendaraan, panjang antrian kendaraan dan waktu tundaan pejalan kaki menyeberang dilakukan pada periode jam sibuk arus lalu lintas dari hasil survai arus lalu lintas.



BAB II

STUDI PUSTAKA

2.1. Karakteristik Arus Lalu Lintas

Arus lalu lintas merupakan interaksi yang unik antara pengemudi, kendaraan, dan jalan. Tidak ada arus lalu lintas yang sama bahkan pada keadaan yang serupa, sehingga arus pada suatu ruas jalan tertentu selalu bervariasi. Walaupun demikian diperlukan parameter yang dapat menunjukkan kondisi ruas jalan atau yang akan dipakai untuk desain. Parameter tersebut adalah volume, kecepatan dan kerapatan. Adapun penjelasan secara rinci terdapat pada pembahasan sebagai berikut.

a. Volume

Volume lalu-lintas adalah jumlah kendaraan yang melalui satu titik pengamatan selama periode waktu tertentu atau sebuah peubah (*variabel*) yang sangat penting pada teknik lalu-lintas. Pada dasarnya merupakan proses perhitungan yang berhubungan dengan jumlah gerakan per satuan waktu pada lokasi tertentu. Jumlah gerakan yang dihitung dapat meliputi tiap macam moda lalu-lintas seperti : pejalan kaki, mobil, bus, motor dan lainnya. Perhitungan volume lalu-lintas pada dasarnya bertujuan untuk menetapkan: nilai kepentingan relatif dalam suatu rute, fluktuasi dalam arus, distribusi lalu-lintas pada sebuah sistem jalan dan kecenderungan pemakai jalan. (*F.D. Hobbs, 1995*).

Perhitungan volume lalu-lintas dilakukan dengan membagi kendaraan menjadi 4 (empat) jenis golongan kendaraan yang kemudian dikonversikan ke dalam bentuk satuan waktu penumpang (smp). Satuan tersebut memiliki

standar yang sering digunakan oleh perhitungan kendaraan pada umumnya dengan menggunakan standar *Manual Kapasitas Jalan Indonesia (MKJI) Tahun 1997*.

Pembagian golongan kendaraan yaitu sebagai berikut:

1. *Light Vehicle* adalah kendaraan yang mempunyai bobot kurang dari 5 ton, yang terdiri dari :
 - Sedan, St Wagon, Jeep;
 - Opelet, Combi;
 - Pick Up, Angkutan Kota dan Taksi.
2. *Heavy Vehicle* adalah kendaraan yang mempunyai bobot lebih dari 5 ton, yang terdiri dari :
 - Bis;
 - Mikrobis, Mikrotruk;
 - Truk As 2, Mobil Tangki;
 - Truk Gandengan;
 - Truk As 3 atau lebih.
3. *Motorcycle* adalah kendaraan bermotor beroda dua, yang terdiri dari :
 - Sepeda motor;
 - Scooter.
4. *Unmotorized Vehicle* adalah kendaraan bukan bermotor, bisa beroda dua atau lebih, yang terdiri dari :
 - Sepeda;
 - Becak;

Sedangkan nilai emp untuk setiap tipe pendekat dan jenis kendaraannya dapat dilihat pada Tabel 2.1 sebagai berikut.

Tabel 2.1. EMP untuk masing – masing tipe pendekatan

Jenis Kendaraan	emp untuk tipe pendekat :	
	Terlindung (P)	Terlawan (O)
Kendaraan Ringan (LV)	1	1
Kendaraan Berat (HV)	1.3	1.3
Sepeda Motor (MC)	0.2	0.4

Sumber : MKJI 1997

a. Kecepatan

Kecepatan adalah perubahan jarak dibagi dengan waktu. Kecepatan dapat diukur sebagai kecepatan setempat atau sebagai angka rata-rata waktu atau jarak. Ukuran kecepatan perjalanan yang digunakan adalah kecepatan setempat (*spot speed*) kecepatan perjalanan (*journey speed*), kecepatan berjalan (*running speed*). Hambatan (*delay*) adalah waktu yang hilang pada saat kendaraan berhenti (atau mengurangi kecepatan), dimana kendaraan tidak dapat berjalan sesuai dengan kecepatan yang diinginkan karena adanya sistem pengendali atau kemacetan lalu lintas. Hambatan mempengaruhi kecepatan perjalanan dan mengurangi kualitas serta meningkatnya biaya transportasi. Hambatan yang sering terjadi akan menyebabkan kondisi lalu lintas tidak nyaman karena kendaraan harus sering mempercepat dan mengerem kendaraannya, dimana hal ini akan mendorong para pengemudi yang frustrasi untuk mengemudi kendaraan secara tidak baik.

b. Kepadatan (Density)

Kepadatan didefinisikan sebagai jumlah kendaraan yang menempati suatu panjang jalan atau lajur, secara umum diekspresikan dalam kendaraan per kilometer atau kendaraan per kilometer per lajur. Kepadatan sulit diukur secara langsung di lapangan, melainkan dihitung dari nilai kecepatan dan arus.

Pada saat arus lalu lintas berjalan, karakteristik-karakteristik ini akan bervariasi secara berkesinambungan (terus menerus) yang disebabkan karena acaknya (random) jarak antara kendaraan-kendaraan tersebut.

2.1. Simpang Bersinyal

Persimpangan merupakan pertemuan dua atau lebih ruas jalan, oleh karena itu perlu dikendalikan dengan baik sebab merupakan tempat sumber kemacetan lalu lintas dan tempat yang berpotensi terhadap kecelakaan lalu lintas. Pada persimpangan yang menggunakan isyarat lalu lintas, konflik antar arus lalu lintas dikendalikan dengan isyarat lampu, konflik dapat dihilangkan dengan melepaskan hanya satu arus lalu lintas, tetapi akan mengakibatkan hambatan yang besar bagi arus–arus dari kaki persimpangan lainnya dan secara keseluruhan mengakibatkan pengendalian persimpangan tidak efisien. Oleh karena itu perlu dipertimbangkan untuk mengalirkan beberapa arus bersamaan untuk mempertinggi efisiensi pengendalian persimpangan dengan tidak mengurangi perhatian terhadap aspek keselamatan. Pengaturan simpang dengan sinyal lampu lalu lintas termasuk yang paling efektif, terutama bentuk volume lalu lintas pada kaki simpang yang relatif tinggi. Peraturan ini dapat mengurangi atau menghilangkan titik konflik pada simpang dengan memisahkan pergerakan arus lalu lintas pada saat yang berbeda-beda.

Persimpangan yang diatur dengan sinyal alat pemberi isyarat lalu lintas (APILL)/*traffic light* adalah persimpangan yang umum digunakan di negara-negara manapun didunia. Persimpangan yang diatur dengan APILL ini digunakan untuk persimpangan yang memiliki volume lalu lintas kendaraan yang sedang dan mendekati padat atau jenuh.

Dalam beberapa kasus kota-kota di Indonesia persimpangan yang diatur dengan APILL sering menjadi titik kemacetan pada ruas jalan. Hal ini terjadi

karena tingginya volume lalu lintas yang tidak seimbang dengan kapasitas simpang sehingga menyebabkan waktu tunggu setiap kendaraan menjadi tinggi. Persimpangan yang sudah mencapai titik jenuh, tidak cocok lagi diatur dengan APILL karena hanya akan menimbulkan kemacetan. Pengalaman di beberapa kota di Indonesia persimpangan yang sudah mencapai titik jenuh di tutup.

Pada dasarnya pengaturan persimpangan dengan menggunakan APILL adalah membagi waktu lampu lalu lintas yang disebut dengan waktu siklus (*cycle time*) kedalam kelompok-kelompok arus lalu lintas yang disebut dengan fase (*phase*). Waktu siklus maksimal biasanya adalah 120 detik yang dibagi-bagi menjadi waktu lampu hijau, lampu merah dan lampu kuning untuk setiap fase. Lama lampu kuning standar berkisar antara 2-3 detik yang ditempatkan sebelum lampu merah atau sesudah lampu hijau dan sesudah lampu merah atau sebelum lampu hijau. Besaran waktu hijau untuk masing-masing fase ditentukan oleh besaran volume lalu lintas pada kelompok fase tersebut. Sebagai contoh sebuah kaki persimpangan yang dikelompokkan menjadi suatu kelompok fase akan memperoleh porsi lampu hijau yang lebih lama atau lebih besar dibanding kaki persimpangan lain yang arus lalu lintasnya lebih kecil (Oglesby dan Hicks, 1990 : 394-395).

Perhitungan besaran *cycle time*, waktu hijau dan waktu merah untuk masing-masing fase dilakukan dengan menggunakan rumus matematis yang relatif sederhana. Hasil perhitungan ini kemudian dimasukkan kedalam program komputer yang ada pada peralatan elektronik APILL untuk kemudian di operasionalkan menjadi lampu merah, kuning dan hijau secara bergantian.

(a) Prinsip-prinsip dasar

Sinyal lalu lintas merupakan alat yang mengatur pergerakan lalu lintas melalui pemisahan waktu untuk berbagai arah pergerakan. Alat pengatur ini menggunakan indikasi lampu hijau, kuning, dan merah. Tujuan dari pemisahan waktu pergerakan ini adalah untuk menghindarkan terjadinya arah pergerakan-pergerakan yang saling berpotongan atau melalui titik konflik

pada saat bersamaan. Ada dua tipe dari konflik, yaitu (a) Konflik Primer, (b) Konflik Sekunder. Konflik primer termasuk konflik antara arus lalu lintas dari arah tegak lurus, sedang konflik sekunder termasuk konflik antara arus lalu lintas belok kanan dan lalu lintas arah lainnya atau antara belok kiri dan pejalan kaki. Sinyal lalu lintas terutama menghilangkan konflik primer dan mungkin juga konflik sekunder. Bila tidak ada konflik (primer dan sekunder) maka pergerakan-pergerakan tidak terganggu (*protected*).

(b) Efek dari Sinyal Lalu Lintas

Penerapan efek sinyal lalu lintas dari simpang diharapkan dapat memberikan efek-efek :

- Peningkatan keselamatan lalu lintas.
- Pemberian fasilitas kepada penyeberangan pejalan kaki.
- Peningkatan kapasitas dari simpang antara dua jalan yang sibuk.
- Pengaturan distribusi dari kapasitas berbagai arah lalu lintas atau kategori arus lalu lintas .

(c) Peralatan Sistem Sinyal Lalu Lintas

Sistem pengendalian sinyal lalu lintas terdiri dari peralatan-peralatan sebagai berikut :

- Kepala Tiang
- Detector untuk lalu lintas (bila otomatis)
- Pengendali lokal untuk menyalakan lampu sinyal pada persimpangan.
- Pengendalian induk untuk mengkoordinasikan berbagai pengatur lokal bila ATC
- Sistem transmisi untuk menghubungkan sinyal detektor pengendali lokal dan pengendali induk.

(d) Pengaturan Waktu Sinyal Lalu Lintas

Pengaturan waktu dari persimpangan dengan sinyal secara individu mencakup penentuan dari parameter-parameter utama sebagai berikut :

- Periode intergreen antara phase

- Waktu siklus (*cycle time*)
- Pembagian waktu hijau ke masing-masing phase

Menurut Alik Ansyori Alamsyah (2005), kondisi arus lalu lintas di persimpangan dapat berubah akibat perubahan dari parameter pengaturan waktu. Oleh karena itu adalah sangat penting bahwa pengaturan waktu sinyal harus dilakukan secara hati-hati dan secara berkala diperbaharui sehubungan dengan kebutuhan lalu lintas yang terbaru di persimpangan. Prinsip-prinsip dasar untuk pengaturan waktu dapat dinyatakan sebagai berikut:

- a. Tidak terdapat lalu lintas yang harus mengganggu pada lampu merah jika dapat melewati persimpangan tanpa mengganggu lalu lintas lainnya.
- b. Pengaturan lampu lalu lintas selama lampu lalu hijau dilakukan seefektif mungkin (pada tingkat arus jenuh) dalam usaha menghasilkan tundaan yang sekecil mungkin untuk arus lalu lintas yang mendapat hak lampu lalu lintas.

2.2.1 Penentuan Lebar Efektif Pendekat Simpang Bersinyal

Menurut Manual Kapasitas Jalan Indonesia (MKJI) 1997, penghitungan lebar efektif (W_e) pada tiap pendekat didasarkan atas lebar pendekat (W_A), lebar masuk (W_{entry}) dan lebar exit (W_{exit}). Pada perhitungan tersebut dibagi menjadi dua kondisi penanganan, yaitu :

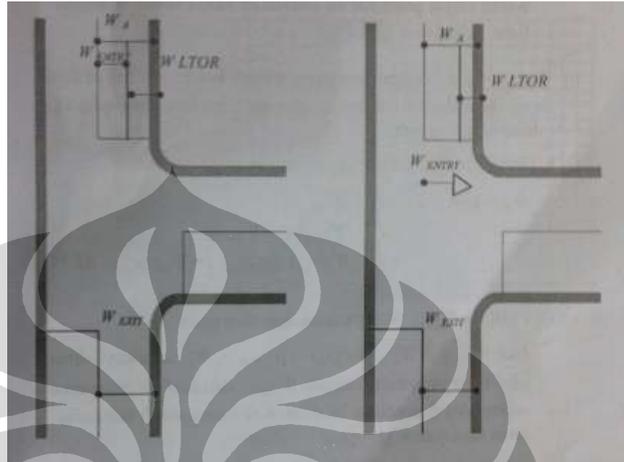
- a. Untuk pendekat tanpa Belok Kiri Langsung (N-LTOR)

Periksa W_{exit}

Jika $W_{exit} < W_e \times (1 - p_{RT} - p_{LTOR})$, W_e sebaiknya diberi nilai baru yang sama dengan W_{exit} , dan analisis penentuan waktu sinyal pendekat ini dilakukan hanya untuk lalu lintas lurus saja, yakni $Q = Q_{st}$. Dimana p_{RT} adalah rasio untuk lalu lintas yang belok kekanan dan p_{LTOR} adalah rasio untuk lalu lintas yang belok kiri langsung.

- b. Untuk pendekat dengan Belok Kiri Langsung (LTOR)

We dapat dihitung untuk pendekat dengan atau tanpa pulau lalu lintas, seperti pada Gambar 2.1 dengan persamaan penghitungan sebagai berikut:



Gambar 2.1 Penentuan Lebar Efektif

- 1) $W_{ltor} \geq 2$ m, dengan anggapan kendaraan LTOR dapat mendahului antrian kendaraan lurus dan belok kanan dalam pendekat selama sinyal merah.

- Arus lalu lintas belok kiri langsung Q_{ltor} dikeluarkan dari perhitungan selanjutnya, yakni $Q = Q_{st} + Q_{rt}$

Menentukan lebar pendekat efektif dengan memilih diantara nilai paling minimum dari hasil persamaan 2.1 sebagai berikut:

$$W_e = \text{Min} \begin{cases} W_A - W_{ltor} \\ W_{entry} \end{cases} \quad (2.1)$$

- Periksa W_{exit} (hanya untuk pendekat tipe P atau arus terlindung)
Jika $W_{exit} < W_e \times (1 - p_{RT} - p_{LTOR})$, W_e sebaiknya diberi nilai baru yang sama dengan W_{exit} , dan analisis penentuan waktu

sinyal pendekat ini dilakukan hanya untuk lalu lintas lurus saja, yakni $Q = Q_{st}$

2) $W_{ltor} < 2$ m, dengan anggapan bahwa kendaraan LTOR tidak dapat mendahului antrian kendaraan lainnya dalam pendekat selama sinyal merah.

- Sertakan Q_{ltor} dalam perhitungan selanjutnya dan nilai W_e yang dipilih adalah nilai paling minimum dari hasil persamaan 2.2 sebagai berikut:

$$W_e = \text{Min} \begin{cases} W_A \\ W_{\text{entry}} + W_{\text{ltor}} \\ W_A \times (1 + p_{\text{ltor}}) - W_{\text{ltor}} \end{cases} \quad (2.2)$$

- Periksa W_{exit} (hanya untuk pendekat tipe P atau keberangkatan tanpa konflik antara gerakan lalu lintas belok kanan dan lurus)
Jika $W_{\text{exit}} < W_e \times (1 - p_{RT} - p_{LTOR})$, W_e sebaiknya diberi nilai baru yang sama dengan W_{exit} , dan analisis penentuan waktu sinyal pendekat ini dilakukan hanya untuk arus lalu lintas lurus saja, yakni $Q = Q_{st}$

2.2.2 Kapasitas Pendekat Simpang Bersinyal (Manual Kapasitas Jalan Indonesia Tahun 1997)

Kapasitas suatu simpang bersinyal (C) merupakan arus lalu lintas maksimum yang dapat dipertahankan melalui suatu pendekat selama periode rasio waktu hijau pada masing-masing pendekat / Arus maksimum dalam satuan mobil penumpang yang dapat melewati garis henti saat waktu hijau. Indikator Persimpangan adalah Arus Jenuh, Waktu Hijau, Waktu Siklus (MKJI,1997).

Universitas Indonesia

Kapasitas pendekat simpang bersinyal dapat dinyatakan sebagai berikut:

$$C = S \times g/c \quad (2.3)$$

dimana :

C = kapasitas (smp/jam)

S = arus jenuh (smp/jam hijau = smp per-jam hijau)

g = waktu hijau (detik)

c = waktu siklus, yaitu selang waktu untuk urutan perubahan sinyal yang lengkap antara dua awak hijau yang berurutan pada fase yang sama (detik)

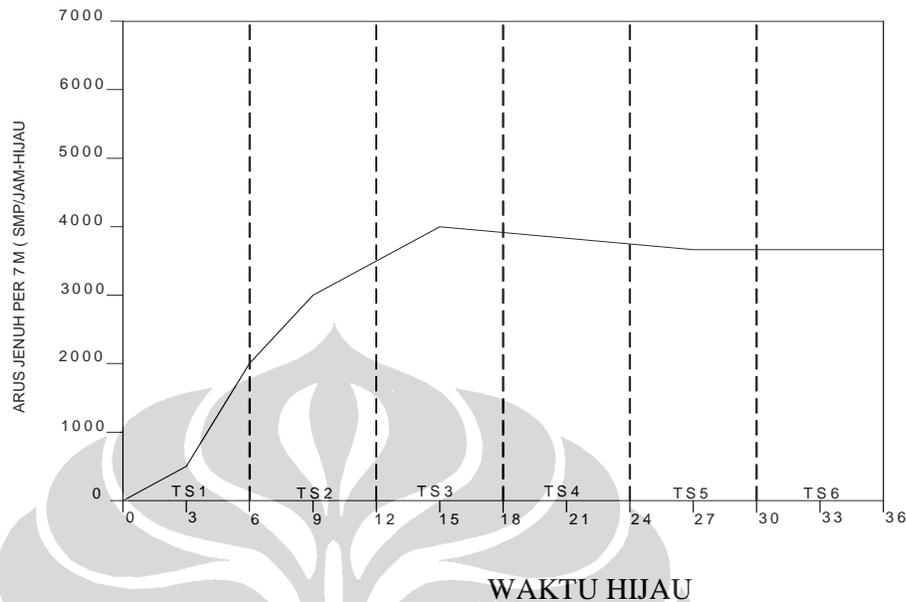
2.2.3 Arus Jenuh

a. Perhitungan menurut Manual Kapasitas Jalan Indonesia Tahun 1997

Arus jenuh (S) adalah arus berangkat rata – rata dari antrian dalam pendekat selama sinyal hijau (smp/jam hijau). Pada Gambar 2.2 dapat dilihat hubungan antara laju pelepasan arus lalu lintas dari mulut persimpangan pada keadaan jenuh selama waktu hijau pada satu siklus. Pada gambar juga terlihat bahwa pada saat lampu mulai hijau ada bagian dari waktu yang tidak terpakai karena diperlukan suatu tenggang waktu saat lampu menunjukkan hijau akibat reaksi pengemudi. Juga pada akhir (pada waktu lampu menyala kuning) ada waktu yang hilang. Sehingga waktu yang efektif digunakan untuk mengalirkan arus lalu lintas tidak selalu sama dengan waktu hijau total.

Pada persamaan 2.3 nilai arus jenuh (S) dianggap tetap selama waktu hijau. Meskipun demikian dalam kenyataannya, arus berangkat mulai dari 0 pada awal waktu hijau dan mencapai nilai puncaknya setelah 10 – 15 detik. Nilai ini akan menurun sedikit sampai akhir waktu hijau seperti terlihat pada Gambar 2.2. Arus berangkat juga terus berlangsung selama waktu kuning dan merah, semua hingga turun menjadi 0, yang biasanya terjadi 5 –10 detik setelah awal sinyal merah.

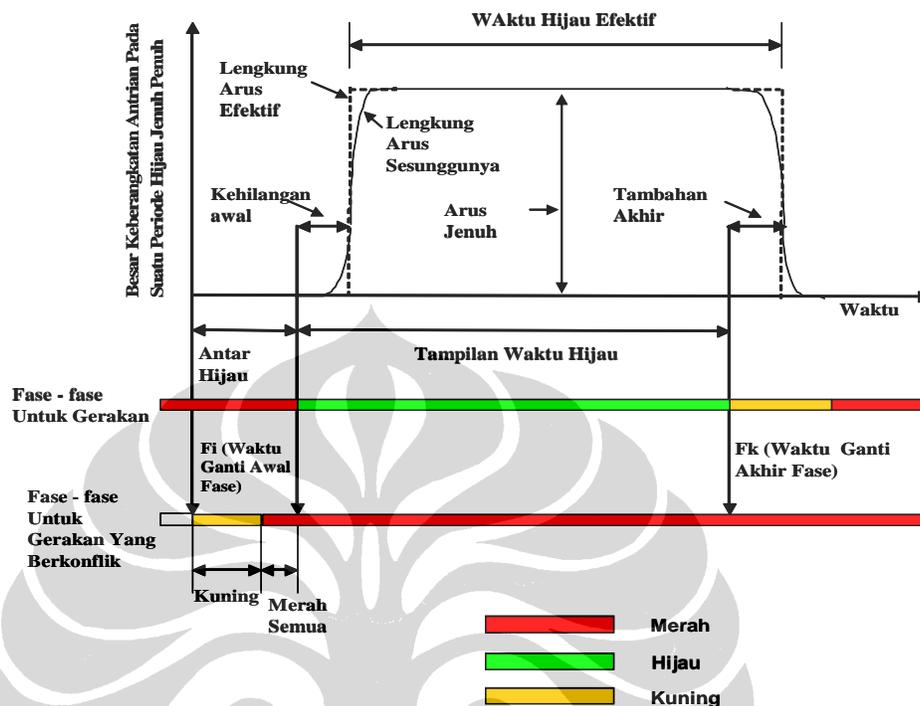
Universitas Indonesia



Gambar 2.2 Arus jenuh yang diamati per selang waktu enam detik

Permulaan arus berangkat menyebabkan terjadinya apa yang disebut sebagai “kehilangan awal “ dari waktu hijau efektif, arus berangkat setelah akhir waktu hijau menyebabkan satu “ tambahan akhir “ dari waktu hijau efektif, seperti terlihat pada Gambar 2.3. Jadi besarnya waktu hijau efektif, yaitu lamanya waktu hijau dimana arus berangkat terjadi dengan besaran tetap sebesar S. Dapat kemudian dihitung sebagai:

Waktu hijau efektif = tampilan waktu hijau ditambah dengan waktu kuning dikurangi waktu hilang.



Gambar 2.3 Model dasar untuk arus jenuh (Akcelik 1989)

Menurut Akcelik (1989) rata-rata besarnya kehilangan awal dan tambahan akhir, keduanya mempunyai nilai sekitar 4,8 detik. Untuk kasus normal, besarnya waktu hijau efektif sama dengan waktu hijau aktual. Kesimpulannya bahwa tampilan waktu hijau dan besar arus jenuh puncak yang diamati di lapangan untuk masing-masing lokasi dapat digunakan pada persamaan 2.3 untuk menghitung kapasitas pendekatan tanpa penyesuaian dengan kehilangan awal dan tambahan akhir.

Arus jenuh (S) dapat dinyatakan sebagai hasil perkalian dari arus jenuh dasar (S_0) pada kondisi standar, dengan faktor penyesuaian (F) untuk penyimpangan dari kondisi sebenarnya, dan dihitung dengan formula sebagai berikut:

$$S = S_o \times F_{cs} \times F_{sf} \times F_g \times F_p \times F_{rt} \times F_{lt} \quad (2.4)$$

Dimana :

S_o = Arus Jenuh Dasar (smp/jam hijau)

F_{cs} = Faktor Friksi Ukuran Kota

F_{sf} = Faktor Friksi Aktifitas Samping

F_g = Faktor Friksi kemiringan pendekat

F_p = Faktor Friksi Jarak Parkir

F_{rt} = Faktor Friksi Arus Belok Kanan

F_{lt} = Faktor Friksi arus Belok Kiri

Arus Jenuh dasar S_o ditentukan sebagai fungsi dari lebar efektif pendekat (W_e), arus lalu lintas belok kanan pada pendekat tersebut dan pada pendekat yang berlawanan. Penyesuaian untuk kondisi sebenarnya perlu dilakukan terkait ukuran kota, hambatan samping, kelandaian dan parkir.

Besarnya arus jenuh dapat ditentukan melalui perhitungan empiris maupun pengamatan langsung di lapangan (*observasi*). Pengamatan dilakukan pada saat arus jenuh yaitu waktu lampu hijau dan dilakukan pada kondisi puncak arus lalu lintas. Perhitungan untuk arus jenuh dasar (S_o) untuk keadaan standard dan faktor penyesuaian (F) untuk penyimpangan dari kondisi sebenarnya adalah sebagai berikut:

1) Arus Jenuh Dasar (S_o)

a) Persimpangan tipe P (Arus Berangkat Terlindung)

$$S_o = 600 \times W_e$$

b) Persimpangan tipe O (Arus Berangkat Terlawan)

Nilai S_o untuk persimpangan tipe O baik dengan maupun tanpa lajur belok kanan terpisah ditentukan dengan grafik pada lampiran tentang hubungan antara arus jenuh dasar dengan arus belok kanan.

2) Faktor Ukuran Kota (Fcs)

Faktor penyesuaian ukuran kota ditentukan sebagai fungsi dari ukuran kota yang ditentukan sesuai dengan tabel 2.2 sebagai berikut:

Tabel 2.2. Faktor Penyesuaian Ukuran Kota

Penduduk Kota (Juta jiwa)	Faktor Penyesuaian Ukuran Kota (Fcs)
> 3.0	1.05
1.0 – 3.0	1.00
0.5 – 1.0	0.94
0.1 – 0.5	0.83
< 0.1	0.82

Sumber : MKJI 1997

3) Faktor Hambatan Samping (Fsf)

Faktor penyesuaian hambatan samping ditentukan berdasarkan tabel 2.3 sebagai fungsi dari jenis lingkungan jalan, tingkat hambatan samping dan rasio kendaraan tak bermotor.

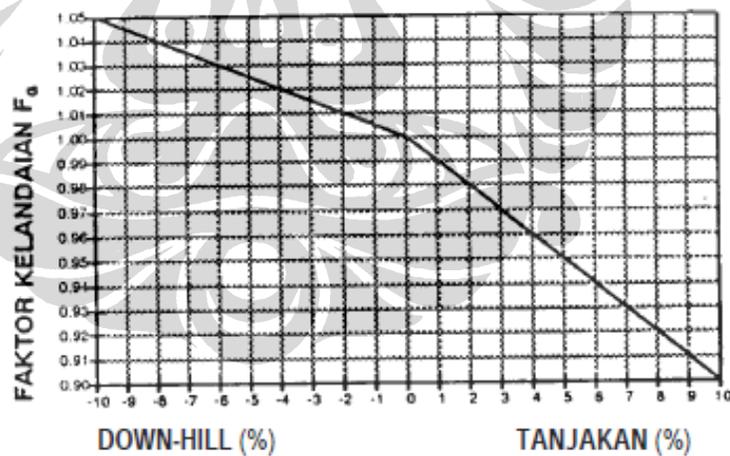
Tabel 2.3. Faktor Hambatan Samping

Lingkungan jalan	Hambatan samping	Tipe fase	Rasio kendaraan tak bermotor					
			0,00	0,05	0,10	0,15	0,20	$\geq 0,25$
Komersial (COM)	Tinggi	Terlawan	0,93	0,88	0,84	0,79	0,74	0,70
		Terlindung	0,93	0,91	0,88	0,87	0,85	0,81
	Sedang	Terlawan	0,94	0,89	0,85	0,80	0,75	0,71
		Terlindung	0,94	0,92	0,89	0,88	0,86	0,82
	Rendah	Terlawan	0,95	0,90	0,86	0,81	0,76	0,72
		Terlindung	0,95	0,93	0,90	0,89	0,87	0,83
Permukiman (RES)	Tinggi	Terlawan	0,96	0,91	0,86	0,81	0,78	0,72
		Terlindung	0,96	0,94	0,92	0,99	0,86	0,84
	Sedang	Terlawan	0,97	0,92	0,87	0,82	0,79	0,73
		Terlindung	0,97	0,95	0,93	0,90	0,87	0,85
	Rendah	Terlawan	0,98	0,93	0,88	0,83	0,80	0,74
		Terlindung	0,98	0,96	0,94	0,91	0,88	0,86
Akses terbatas (RA)	Tinggi/Sedang/Rendah	Terlawan	1,00	0,95	0,90	0,85	0,80	0,75
	"	Terlindung	1,00	0,98	0,95	0,93	0,90	0,88

Sumber : MKJI 1997

4) Faktor Kelandaian (Fg)

Faktor kelandaian ditentukan untuk menjelaskan kondisi tanjakan atau turunan dengan menggunakan grafik pada gambar 2.4 sebagai berikut:



Gambar 2.4 Faktor penyesuaian untuk kelandaian

5) Faktor Parkir (F_p)

Faktor penyesuaian parkir ditentukan sebagai fungsi jarak dari garis henti sampai kendaraan yang diparkir pertama dan lebar pendekatan. Faktor ini dapat juga diterapkan untuk kasus-kasus dengan panjang lajur belok kiri terbatas. Ini tidak perlu diterapkan jika lebar efektif ditentukan oleh lebar keluar. Faktor Parkir (F_p) dapat dihitung menggunakan rumus berikut.

$$F_p = (L_p / 3 - (W_a - 2) \times (L_p / 3) / W_a) / g \quad (2.5)$$

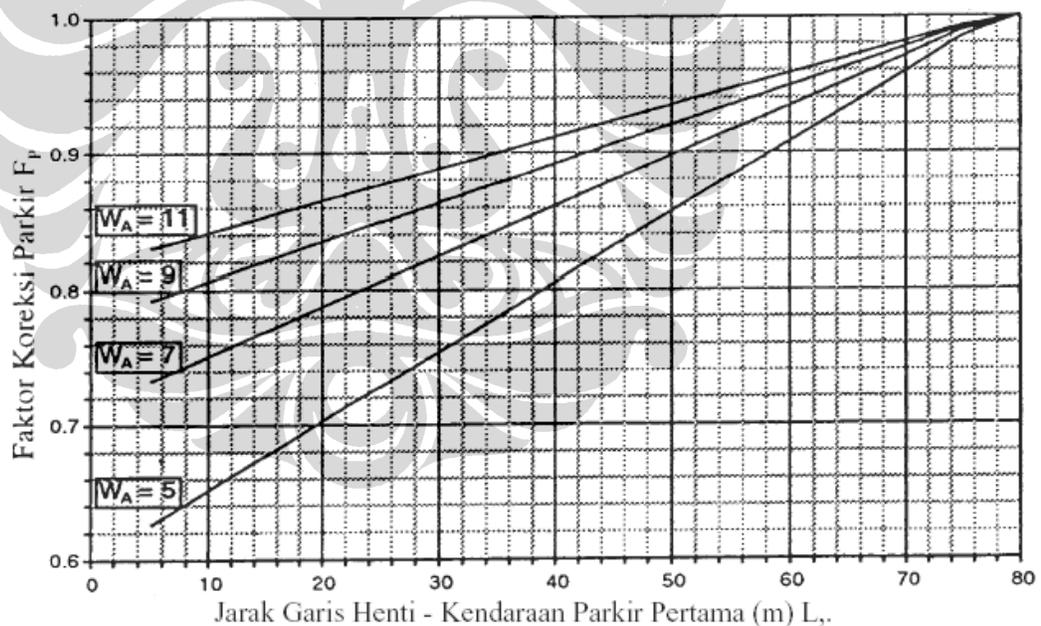
dengan :

L_p = Jarak terdekat antara garis henti kendaraan yang parkir

W_a = Lebar mulut persimpangan (meter)

g = Waktu hijau pada mulut persimpangan (detik)

Faktor parkir dapat juga dilihat pada grafik tentang hubungan jarak parkir terdekat dengan friksi parkir seperti pada gambar 2.5 sebagai berikut:



Sumber : MKJI 1997

Gambar 2.5 Faktor penyesuaian untuk pengaruh parkir

6) Faktor Belok Kanan (Frt)

Faktor penyesuaian belok kanan ditentukan sebagai fungsi dari rasio kendaraan belok kanan yang hanya berlaku untuk pendekat tipe P (kendaraan belok kanan dari arus berangkat terlindung), tanpa median, jalan dua arah dan lebar efektif ditentukan oleh lebar masuk.

Pada jalan dua arah tanpa median, kendaraan belok kanan dari arus berangkat terlindung mempunyai kecenderungan untuk memotong garis tengah jalan sebelum melewati garis henti ketika menyelesaikan belokannya. Hal ini menyebabkan peningkatan rasio belok kanan yang tinggi pada arus jenuh. Dimana Faktor Belok Kanan (Frt) dapat dihitung menggunakan rumus berikut.

$$Frt = 1 + pRT \times 0.26 \quad (2.6)$$

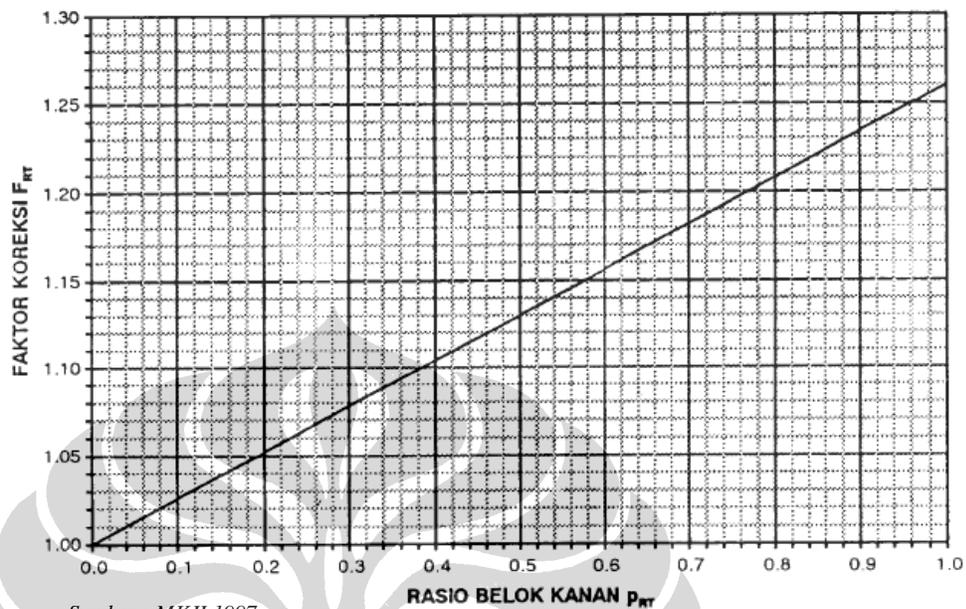
$$pRT = \frac{RT \text{ (smp/jam)}}{\text{Total (smp/jam)}} \quad (2.7)$$

Dimana :

pRT = Rasio untuk lalu lintas yang belok kekanan

RT = Indeks untuk lalu lintas yang belok kekanan

Selain itu Faktor Belok Kanan (Frt) dapat ditentukan menggunakan grafik pada gambar 2.6 sebagai berikut:



Sumber : MKJI 1997

Gambar 2.6 Faktor penyesuaian untuk belok kanan

7) Faktor Belok Kiri (F_{LT})

Faktor penyesuaian belok kiri ditentukan sebagai fungsi dari rasio kendaraan belok kiri yang hanya berlaku untuk pendekatan tipe P (kendaraan belok kanan dari arus berangkat terlindung), tanpa LTOR, dan lebar efektif ditentukan oleh lebar masuk.

Pada pendekatan terlindung tanpa lajur belok kiri langsung, kendaraan belok kiri cenderung melambat dan mengurangi arus jenuh pendekatan tersebut. Karena arus berangkat dalam pendekatan-pendekatan terlawan (tipe 0) pada umumnya lebih lambat, maka tidak diperlukan penyesuaian untuk pengaruh rasio belok kiri. Dimana Faktor Belok Kiri (F_{LT}) dapat dihitung menggunakan rumus berikut.

$$Flt = 1 - pLT \times 0.16 \quad (2.8)$$

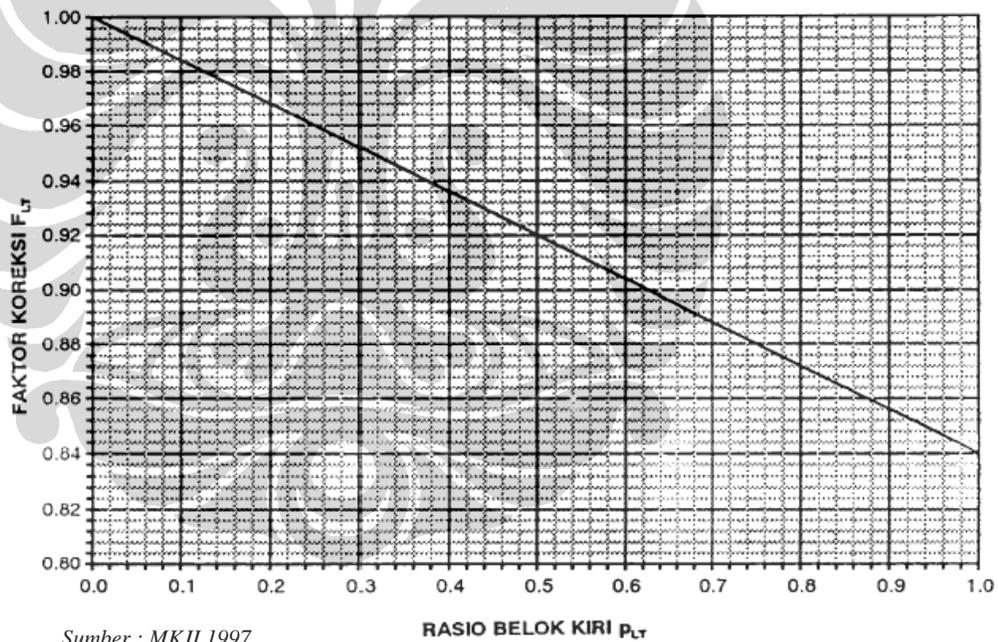
$$pLT = \frac{LT \text{ (smp/jam)}}{\text{Total (smp/jam)}} \quad (2.9)$$

Dimana :

pLT = Rasio untuk lalu lintas yang belok kekiri

LT = Indeks untuk lalu lintas yang belok kekiri

Selain itu Faktor Belok Kiri (Flt) dapat ditentukan menggunakan grafik pada gambar 2.7 sebagai berikut:



Gambar 2.7 Faktor penyesuaian untuk belok kiri

Sebenarnya besarnya arus jenuh tidak sama setiap persimpangan, ada beberapa hal yang mempengaruhi arus jenuh, antara lain :

1) Tanjakan atau penurunan pada kaki persimpangan

Untuk setiap prosentase tanjakan dilakukan pengurangan arus jenuh sebesar 3% dan setiap prosentase turunan dilakukan penambahan arus jenuh sebesar 3%.

2) Komposisi lalu lintas

Lalu lintas dikoreksi dengan mengkonversi kedalam satuan mobil penumpang (SMP).

3) Jarak lokasi parkir dari garis henti

Bila ada lokasi parkir dekat dengan garis henti, maka w harus dikurangi sebesar

$$w = 1,68 - (0,9 (z - 7,62))/k \quad (\text{satuan}) \quad (2.10)$$

Dimana :

w = pengurangan lebar, meter

z = jarak lokasi parkir ke garis henti, meter

k = waktu hijau dari kaki persimpangan yang bersangkutan, detik.

4) Ada tidaknya lalu lintas yang akan membelok kekanan yang berpapasan dengan lalu lintas yang datang dari arah yang berlawanan. Lalu lintas yang belok kanan, jumlah SMP lalu lintas belok kanan yang berpapasan dengan lalu lintas yang terus harus dikalikan dengan faktor 1,75.

5) Radius tikungan.

Semakin kecil radius tikungan semakin kecil kapasitas dari jalur yang membelok dengan rumus :

$$S_t = S / (1 + 1,5/r) \quad (2.11)$$

Dimana :

S_t = Arus jenuh membelok setelah dikoreksi

S = Arus jenuh menurut rumus, SMP/jam

r = radius tikungan, meter

b. Perhitungan menurut Model AKCELIK (Traffic Signal : Capacity and Timing Analysis, 1981)

Dasar metoda ini adalah arus jenuh setiap lajur. Lalu lintas pada setiap lajur dapat dihitung terpisah atau digabungkan. Lalu lintas di Australia berjalan di sisi kiri jalan. Pengaruh kendaraan yang membelok ke kiri atau kekanan tergantung dari pergerakan kendaraan tersebut dalam menghadapi atau tidak menghadapi halangan baik kendaraan maupun pejalan kaki.

Arus Jenuh dihitung menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$S = \frac{f_w \cdot f_g}{f_c} S_b \quad (2.12)$$

dimana : s = arus jenuh (smp/jam)

f_w = faktor koreksi lebar lajur

f_g = faktor koreksi kemiringan

f_c = faktor koreksi komposisi lalu lintas

s_b = Arus Jenuh Dasar

2.2.4 Antrian Kendaraan Pada Pendekat Simpang Bersinyal

Panjang antrian adalah jumlah rata rata antrian kendaraan pada awal sinyal hijau (NQ) dihitung sebagai jumlah smp yang tersisa dari fase hijau sebelumnya (NQ1) ditambah jumlah smp yang datang selama fase merah (NQ2). Untuk perhitungannya menggunakan persamaan dibawah ini :

Perhitungan jumlah smp yang tersisa dari fase hijau sebelumnya (NQ1)

Untuk $DS > 0,5$

$$NQ1 = 0,25 \times C \times \left[(DS - 1) + \sqrt{(DS - 1)^2 + \frac{8 \times (DS - 0,5)}{C}} \right] \quad (2.13)$$

Untuk $DS < 0,5$

$$NQ1 = 0 \quad (2.14)$$

Dimana :

$NQ1$ = Jumlah smp yang tersisa dari fase hijau sebelumnya

DS = Derajat Kejenuhan

GR = Rasio Hijau

C = Kapasitas (smp/jam)

Perhitungan jumlah smp yang datang selama fase merah ($NQ2$)

$$NQ2 = c \times \frac{1-GR}{1-GR \times DS} \times \frac{Q}{3600} \quad (2.15)$$

Dimana :

$NQ2$ = Jumlah smp yang datang selama fase merah

DS = Derajat Kejenuhan

GR = Rasio Hijau

c = Waktu Siklus (detik)

Q_{masuk} = Arus Lalu Lintas pada tempat masuk diluar LTOR (smp/jam)

Jadi jumlah antrian kendaraan pada simpang bersinyal adalah sebagai

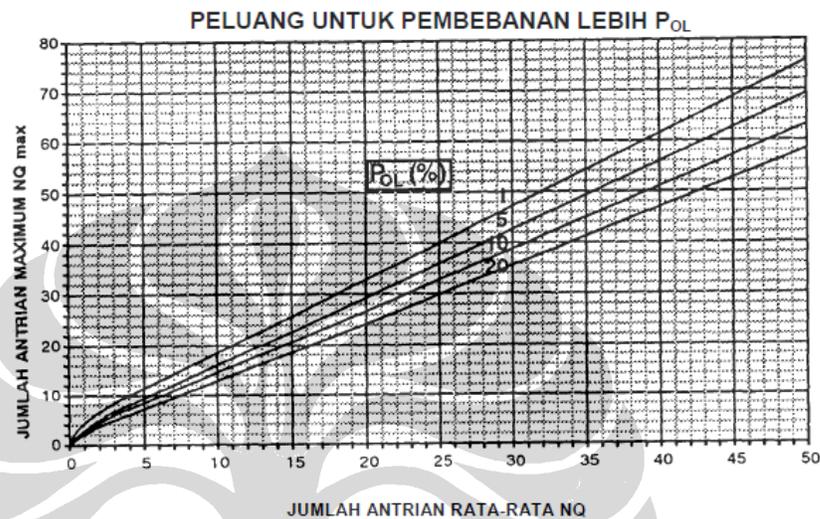
berikut :

$$NQ = NQ1 + NQ2 \quad (2.16)$$

Untuk menghitung nilai panjang antrian (QL) dari nilai NQ diatas dilakukan dengan mengalikan NQ_{max} dengan luas rata – rata yang dipergunakan per smp (20 m^2) kemudian dibagi lebar masuk sebagai berikut :

$$QL = NQ_{max} \times \frac{20}{W_{masuk}} \quad (2.17)$$

Dimana nilai NQ max untuk perancangan dan perencanaan disarankan Pol (%) $\leq 5\%$ sedangkan untuk operasi suatu nilai Pol = 5 – 10%. Dan dalam menentukan nilai NQ max digunakan grafik pada gambar 2.8 sebagai berikut :



Gambar 2.8 Perhitungan jumlah antrian (NQ max) dalam smp

2.2.5 Tundaan Kendaraan Pada Pendekat Simpang Bersinyal

Tundaan merupakan waktu tempuh tambahan yang diperlukan untuk melalui simpang apabila dibandingkan lintasan tanpa melalui simpang. Tundaan terdiri dari Tundaan Lalu lintas (DT) dan Tundaan Geometri (DG). Tundaan lalu lintas merupakan waktu menunggu yang terjadi akibat interaksi lalu lintas dengan gerakan lalu lintas yang bertentangan. Tundaan geometri adalah waktu tambahan yang disebabkan oleh perlambatan dan percepatan kendaraan yang membelok di persimpangan dan/atau yang terhenti di persimpangan karena lampu merah. Untuk perhitungannya dapat dilihat pada persamaan sebagai berikut :

Tundaan rata rata untuk suatu pendekat dapat dihitung sebagai berikut :

$$D = DT + DG \quad (2.18)$$

Dimana :

D = Tundaan rata rata untuk pendekat (det/smp)

DT = Tundaan lalu lintas rata rata untuk pendekat (det/smp)

DG = Tundaan geometri rata rata untuk pendekat (det/smp)

Sedangkan Tundaan lalu lintas rata rata dari suatu pendekat dapat ditentukan dengan rumus :

$$DT = c \times \frac{0,5 \times (1 - GR)^2}{(1 - GR \times DS)} + \frac{NQ1 \times 3600}{C} \quad (2.19)$$

Dimana :

DT = Tundaan lalu lintas rata rata pada pendekat (det/smp)

GR = Rasio Hijau

DS = Derajat Kejenuhan

C = Kapasitas (smp/jam)

NQ1 = Jumlah smp yang tertinggal dari fase hijau sebelumnya.

Sedangkan tundaan geometri rata-rata suatu pendekat dapat ditentukan menggunakan persamaan sebagai berikut :

$$DG = (1 - P_{SF}) \times P_T \times 6 + (P_{SF} \times 4) \quad (2.20)$$

Dimana :

DG = Tundaan geometri rata-rata pada pendekat (det/smp)

P_{SF} = Rasio kendaraan terhenti pada suatu pendekat

P_T = Rasio kendaraan membelok pada suatu pendekat

2.2.6 Waktu Tundaan Pejalan Kaki Menyeberang

Tundaan telah diterima secara luas sebagai indeks kinerja utama untuk persimpangan bersinyal, sehingga perlu untuk memperkirakan tundaan untuk semua sistem lalu lintas yang terkait di persimpangan bersinyal. Salah satu dari bentuk lalu lintas adalah pejalan kaki dan hal ini tidak dapat terpisahkan dari sistem transportasi jalan. Dalam hal ini model yang digunakan untuk menghitung tundaan pejalan kaki pada kaki pendekat persimpangan bersinyal adalah model Virkler 1998, sebagai berikut :

$$d = \frac{[C - (G + 0.69A)]^2}{2C} \quad (2.21)$$

Dimana :

- d = tundaan rata – rata pejalan kaki (detik)
- C = panjang waktu siklus (detik)
- G = waktu hijau (detik)
- A = waktu pengosongan (waktu kuning + waktu semua merah)

2.2. Validasi Model Simpang Bersinyal dan Uji Statistik

Setelah model persimpangan bersinyal terbentuk lengkap dengan hasil kinerja persimpangannya proses selanjutnya adalah melakukan validasi model yaitu membandingkan dan menilai kesesuaian hasil kinerja persimpangan yaitu waktu tundaan kendaraan, panjang antrian kendaraan, dan tundaan waktu menyeberang pejalan kaki hasil survai (*observasi*) pada pendekat dengan hasil model. Hasil model dapat diterima dan digunakan apabila tingkat validasinya maksimal 20% dengan hasil survai (Ofyar Z Tamin,1997) dan apabila tingkat validasinya lebih dari 20% maka perlu dilakukan perbaikan kembali terhadap model yang telah dibuat.

Sebelum melakukan validasi, perlu diuji secara statistik antara hasil model dengan hasil survai dengan uji statistik Chi-square (χ^2). Uji statistik ini digunakan untuk menguji apakah hasil simulasi yang dihasilkan mempunyai perbedaan yang cukup signifikan dengan hasil survai. Apabila tidak terdapat perbedaan yang cukup signifikan maka hasil simulasi dapat diterima dan tidak perlu dilakukan validasi karena hasil model sama dengan hasil survai. Tetapi sebaliknya jika terdapat perbedaan yang signifikan, maka hasil simulasi tidak dapat diterima. Uji statistik hasil simulasi dilakukan berdasarkan hasil *Chi-square test* antara mean hasil simulasi dengan mean hasil observasi. Rumus umum Chi-square (χ^2) adalah sebagai berikut: (Sudjana, 1996)

$$X^2 = \sum_{i=1}^k \frac{(O_i - E_i)^2}{E_i} \quad (2.22)$$

Keterangan:

O_i = data hasil observasi

E_i = data hasil simulasi

Nilai diperoleh dari hasil pengujian hipotesis dengan prosedur berikut:

1. Menyatakan hipotesis nol dan hipotesis alternatif
 Ho : hasil survai (O_i) = hasil model (E_i)
 H₁ : hasil survai (O_i) ≠ hasil model (E_i)
2. Menentukan tingkat signifikan dengan derajat keyakinan 95% atau $\alpha = 0.05$
3. Menentukan uji statistik Chi-square dengan derajat kebebasan df = k-1, dengan k = jumlah baris
4. Menentukan kriteria uji:
 Ho diterima jika : χ^2 hasil hitung \leq χ^2 hasil tabel chi square
 H₁ ditolak jika : χ^2 hasil hitung \geq χ^2 hasil tabel chi square

2.3. Penelitian Terdahulu Terkait Simpang Bersinyal

Agus Prajitno (2000) melakukan penelitian untuk menganalisis pengaruh strategi pengontrolan lalu lintas yaitu larangan belok kanan pada simpang bersinyal terhadap variabel – variabel kinerja jaringan jalan pada lokasi pusat perdagangan (CBD) di Kota Malang dan menyimpulkan bahwa pengaruh larangan belok kanan yang diskenariokan pada simpang bersinyal di Kota Malang terhadap jaringan terbatas menunjukkan bahwa pada jaringan macet tidak banyak memperbaiki kinerja atau sama dengan skenario tanpa larangan belok kanan.

Fuad Nur Alam (2008) melakukan penelitian untuk mengetahui keakuratan metode dalam perhitungan simpang pada kondisi arus instationer yaitu dengan melakukan analisis perhitungan panjang antrian dan tundaan di simpang dengan menggunakan metode Wu (1990), Akcelik (1981) dan MKJI 1997 serta mencari bentuk pola arus yang tepat sesuai dengan yang terjadi dilapangan dengan metode Wu (1990). Dan dari uji statistik dengan uji Chi-Square dapat disimpulkan bahwa tidak ada perbedaan yang signifikan antara hasil penghitungan panjang antrian dan tundaan dengan menggunakan ketiga metode yaitu Wu (1990), Akçelik (1981) dan MKJI (1997) dengan kondisi lapangan pada tingkat kepercayaan 95%. Meskipun begitu penghitungan tundaan dengan metode Wu paling mendekati kondisi lapangan. Sementara itu hasil uji Chi-Square pada tingkat kepercayaan 95 % ($\alpha = 0,05$) menunjukkan bahwa bentuk pola arus secara umum yang paling mendekati kondisi lapangan adalah pola arus segitiga.

Hermin Eka Wijayanti (2009) melakukan penelitian mengenai pengaruh belok kiri langsung (LTOR) terhadap kinerja simpang empat bersinyal dengan studi kasus persimpangan di Kota Malang. Dalam studinya mengacu pada Manual Kapasitas Jalan Indonesia Tahun 1997, hasil studi dapat disimpulkan bahwa pergerakan kendaraan belok kiri langsung (LTOR) berpengaruh meningkatkan kinerja simpang.

I Gede Permana Jati (2003) menganalisa kinerja simpang bersinyal dengan menggunakan metode akcelik dan metode IHCM 1997 pada kondisi lalu lintas rendah dengan lokasi penelitian di persimpangan sweta Kota Cakranegara, Bali dan menyimpulkan bahwa penggunaan metode IHCM 1997 ternyata lebih mendekati dengan hasil yang diperoleh dari pengamatan langsung di lapangan.

Dwi Prasetyanto (2005), melakukan penelitian pengaruh sudut pendekatan persimpangan bersinyal terhadap arus jenuh dengan lokasi penelitian di Kota Bandung, menyimpulkan bahwa semakin besar sudut pendekatan maka semakin besar nilai arus jenuh, karena dimungkinkan dengan semakin besarnya sudut pendekatan maka kendaraan yang melewati garis henti akan lebih mudah bermanuver.

Qingfeng Li. dkk (2004), Makalah ini mengusulkan sebuah model tundaan pejalan kaki yang sesuai untuk persimpangan bersinyal di kota-kota berkembang, berdasarkan studi lapangan yang dilakukan di Xi_an, Cina. Studi lapangan terdiri dari dua bagian. Bagian I yang terlibat hanya satu penyeberangan, dan siklus sinyal dibagi menjadi 13 sub fase; Bagian II melibatkan 13 penyeberangan, tapi siklus sinyal hanya dibagi menjadi fase hijau dan non-hijau fase. Ditemukan bahwa tingkat kedatangan pejalan kaki tidak seragam di seluruh siklus; pejalan kaki yang tiba selama fase hijau juga mungkin menerima penundaan; Berdasarkan hasil studi lapangan, beberapa asumsi yang dibuat tentang hubungan antara keterlambatan pejalan kaki rata-rata dan subphase kedatangan, dan model baru dikembangkan untuk memperkirakan penundaan pejalan kaki di persimpangan bersinyal. Model ini divalidasi menggunakan data lapangan, dan hasil validasi menunjukkan bahwa pada Xi_an model baru menyediakan estimasi lebih akurat daripada model yang ada.

Francois Dion (2003), Delay adalah parameter penting yang digunakan dalam optimasi timing sinyal lalu lintas dan estimasi tingkat pelayanan pada pendekatan persimpangan bersinyal. Namun, tundaan juga parameter yang sulit diperkirakan. Sementara banyak metode yang saat ini tersedia untuk

memperkirakan tundaan yang terjadi pada pendekat persimpangan, sangat sedikit penelitian telah dilakukan untuk menilai konsistensi yang diestimasi. Makalah ini membahas masalah tersebut dengan membandingkan tundaan yang diperkirakan oleh sejumlah model. Secara khusus, makalah ini membandingkan perkiraan tundaan dari model antrian deterministik, model yang didasarkan pada teori gelombang kejut, dengan kondisi model Webster, model antrian berbasis pada Panduan Kapasitas 1981 Australia, 1995 Kapasitas Panduan Kanada untuk persimpangan bersinyal, dan versi 1994 dan 1997 dari Manual Kapasitas Jalan (HCM), selain itu tundaan diperkirakan dari perangkat lunak INTEGRASI lalu lintas mikroskopis. Hasil perbandingan menunjukkan bahwa semua model tundaan menghasilkan hasil yang sama untuk simpang bersinyal dengan permintaan lalu lintas rendah, tetapi perbedaan meningkat terjadi karena permintaan lalu lintas mendekati jenuh.

2.4. Program VISSIM

VISSIM adalah perangkat lunak mikroskopik yang berfungsi untuk mensimulasikan model lalu lintas perkotaan dan operasi angkutan umum. Program ini dapat menganalisis lalu lintas dan perpindahan dengan batasan pemodelan seperti geometrik jalur, komposisi kendaraan, sinyal lalu lintas, *stop line*, perilaku pengemudi dan lain-lain, sehingga menjadi suatu alat yang berguna untuk mengevaluasi berbagai alternatif berdasarkan rekayasa transportasi sebagai langkah-langkah pengambilan keputusan yang lebih efektif dan efisien dalam suatu kegiatan perencanaan termasuk simulasi dalam pengembangan model (User Manual VISSIM 5.0, 2007).

Sistem simulasi VISSIM terbagi menjadi dua bagian program. Program pertama adalah Model Arus Lalu Lintas (*the traffic flow model*), yang merupakan inti dari Program VISSIM. Sistem kedua adalah model kontrol sinyal. Dalam

Universitas Indonesia

sistem ini VISSIM berfungsi sebagai *master* yang mengirim nilai detektor program kontrol sinyal (*slave*) setiap detik. Kontrol sinyal menggunakan nilai detektor untuk menentukan aspek arus sinyal. VISSIM menerima sinyal dan berulang secara menerus dari awal arus lalu lintas. Simulasi berupa simulasi mikro yang memodelkan kendaraan tunggal (*single vehicle modeling*) secara stochastic dengan waktu yang tetap (interval 1 detik). Hasil dari simulasi merupakan animasi arus lalu lintas secara *online* dan laporan waktu perjalanan dan distribusi waktu tunggu secara *offline*.

Model arus lalu lintas dan kontrol sinyal berhubungan melalui *standardized interfaces* (atau DDE pada MS Windows yang secara berturut-turut terhubung dibawah UNIX). Sifat fleksibel merupakan dasar keuntungan membagi tugas ke dalam dua program. Sepanjang strategi kontrol sinyal tersedia sebagai program -C, hal tersebut dapat diimplementasikan pada VISSIM.

a. Model Arus lalu Lintas

Kualitas sistem simulasi lalu lintas bergantung pada tingginya kualitas model arus lalu lintas. Model mengikuti *car-following* dan *lane-changing* sebagai model arus lalu lintas. Model car following juga disebut sebagai model jarak (*spacing model*) menggambarkan pergerakan kendaraan dimana pengemudi menginginkan bergerak lebih cepat dari kendaraan didepannya. Bila lebih dari satu lajur tersedia kendaraan cenderung untuk mendahului/menyalip yang dimodelkan dalam algoritma *lane changing*.

Model arus lalu lintas pada VISSIM adalah diskret, stokastik, model *time step base mikro* dengan pengemudi-kendaraan-unit sebagai bentuk satu kesatuan. Model ini mengandung model *psycho-physical car following* dan algoritma peraturan dasar untuk pergerakan kesamping. Model didasarkan pada *continued work of Wiedemann (1974)*. Gagasan utama model Wiedemann adalah asumsi pengemudi dapat melakukan manuver dengan model, meliputi:

Universitas Indonesia

1. Mengemudi bebas (*Free driving*) yaitu kendaraan tidak dipengaruhi oleh kendaraan didepannya, dan pengemudi mencoba untuk mencapai dan mempertahankan kecepatannya. Pada realitanya, kecepatan pengemudi bebas tidak selalu tetap. Akan tetapi kendaraan bergerak pada rentang kecepatan yang diinginkan.
 2. Menyusul (*Approaching*), yaitu kendaraan bergerak melalui proses adaptasi kecepatan menuju kecepatan yang lebih rendah dari kendaraan didepannya. Pengemudi melakukan pengereman agar perbedaan kecepatan dua kendaraan menjadi nol pada saat kendaraan mencapai jarak aman.
 3. Mengikuti (*Following*) yaitu pengemudi mengikuti kendaraan didepannya dengan tanpa sengaja mempercepat ataupun memperlambat kendaraan. Pengemudi mempertahankan jarak aman yang tidak tetap, akibat kontrol gas dan perhitungan yang tidak sempurna, sehingga perbedaan kecepatan menjadi sekitar nol.
 4. Pengereman (*Braking*) yaitu pengemudi menerapkan perlambatan sedang sampai tingkat tinggi saat berada pada jarak aman. Hal ini dapat terjadi bila kendaraan yang berada didepan mengubah kecepatan secara tiba-tiba, bila kendaraan ketiga merubah lajur didepan pengemudi pengamat.
- b. Input Data
- Data input yang diperlukan untuk menggunakan model VISSIM meliputi:
1. *Geometri Jaringan*: Bentuk jaringan yang menunjukkan seluruh wilayah studi, jenis link (misalnya perkotaan, interurban, jalan setapak), dan jumlah jalur di link, lebar jalan, kemiringan/gradien link, dan konektor link untuk gerakan membelok.
 2. *Data Arus Lalu Lintas*: Input arus untuk setiap link masuk dan gerakan membelok untuk setiap persimpangan, ragam kendaraan, panjang kendaraan, kecepatan yang diinginkan (kecepatan aktual kendaraan pada

jalur bebas) di semua pendekat masuk dari wilayah studi, dan untuk semua perubahan kecepatan di dalam wilayah studi.

3. *Data Sinyal Kontrol*: Untuk setiap panjang siklus persimpangan bersinyal, waktu kuning dan merah-kuning dan *timing* untuk akhir lampu merah dan akhir lampu hijau untuk setiap fase sangat diperlukan.

c. Karakteristik Out-put

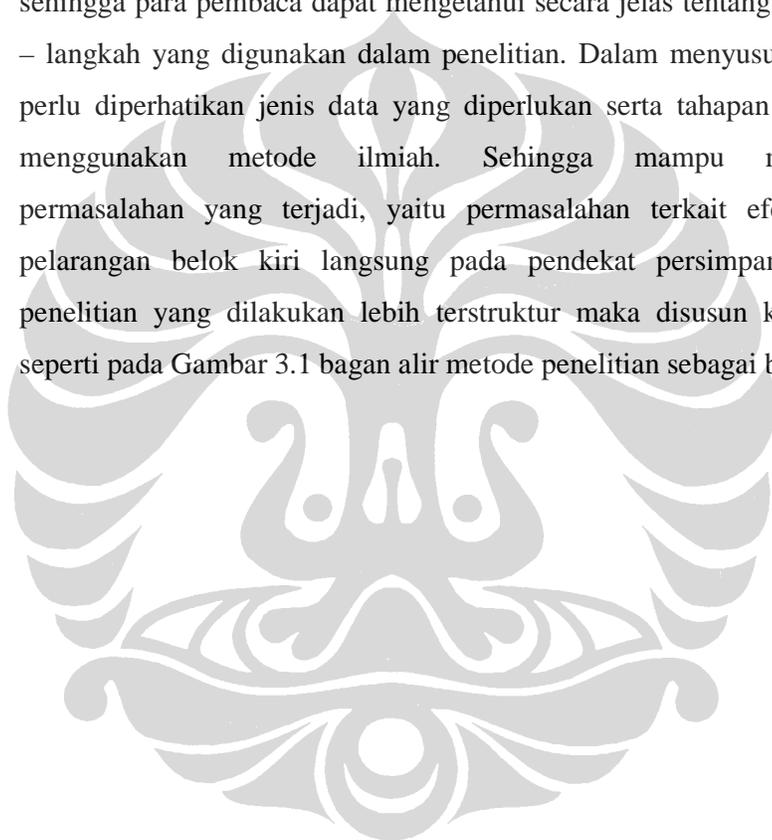
VISSIM menawarkan berbagai evaluasi yang menghasilkan data yang ditampilkan selama menjalankan simulasi/pengujian dan/atau data yang disimpan dalam file teks (notepad). Karena file teks menggunakan titik koma dan pembatas, mereka dengan mudah dapat diimpor dalam aplikasi *spreadsheet* (seperti Microsoft Excel) untuk digunakan sebagai analisis lebih lanjut atau dengan representasi grafis. VISSIM mampu menghasilkan output yang memuat langkah-langkah efektivitas yang secara umum digunakan dalam kegiatan penelitian teknik lalu lintas. Langkah-langkah efektivitas meliputi waktu perjalanan, kecepatan rata-rata link, total keterlambatan, penundaan waktu berhenti, perhentian, panjang antrian, emisi bahan bakar, konsumsi bahan bakar. Satu keuntungan yang dimiliki VISSIM adalah dapat menghasilkan hasil yang sangat rinci pada setiap interval waktu yang didefinisikan oleh pengguna. Ini merupakan kebutuhan umum dalam aplikasi penelitian atau ketika mengembangkan algoritma kontrol baru.

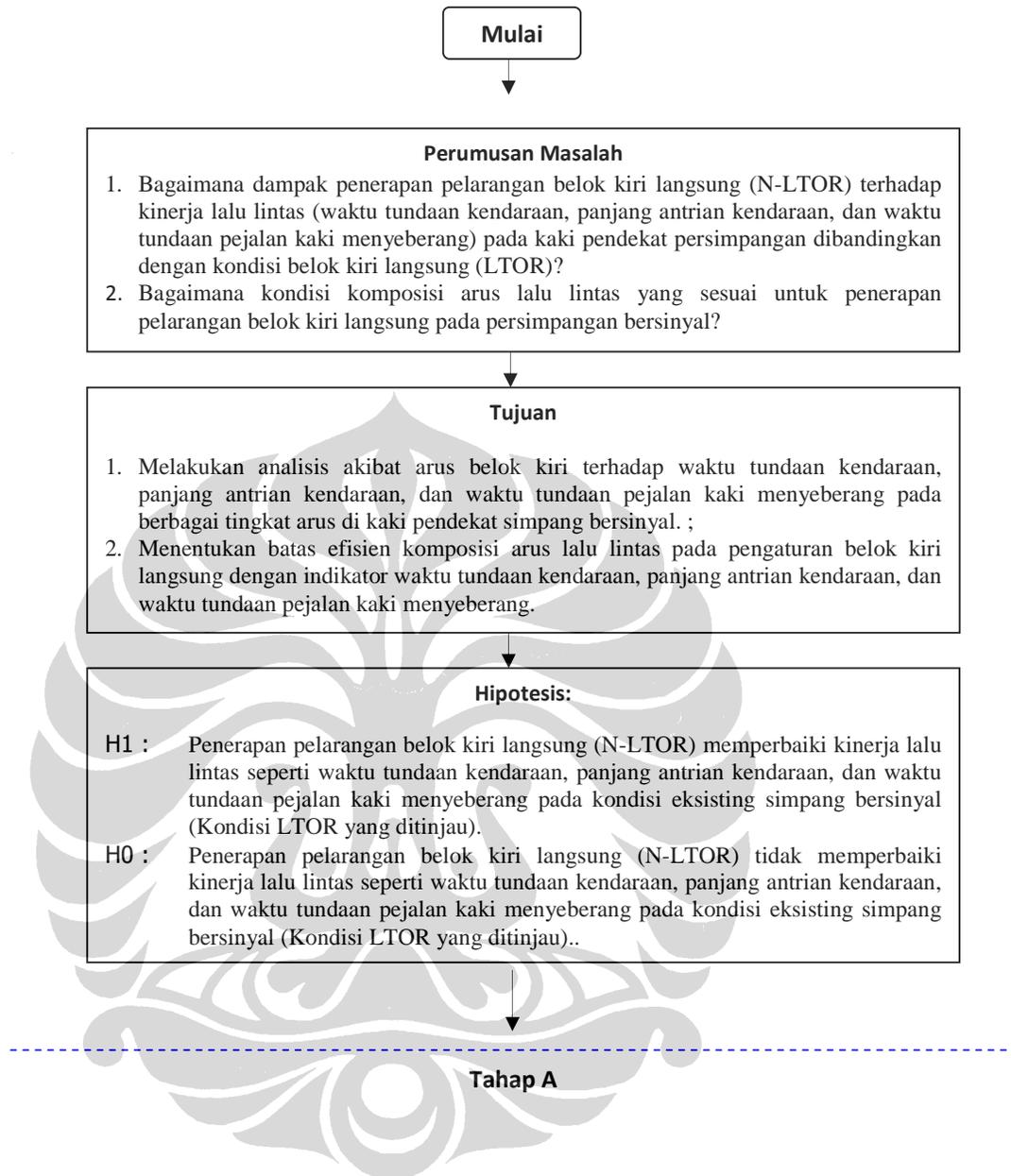
BAB III

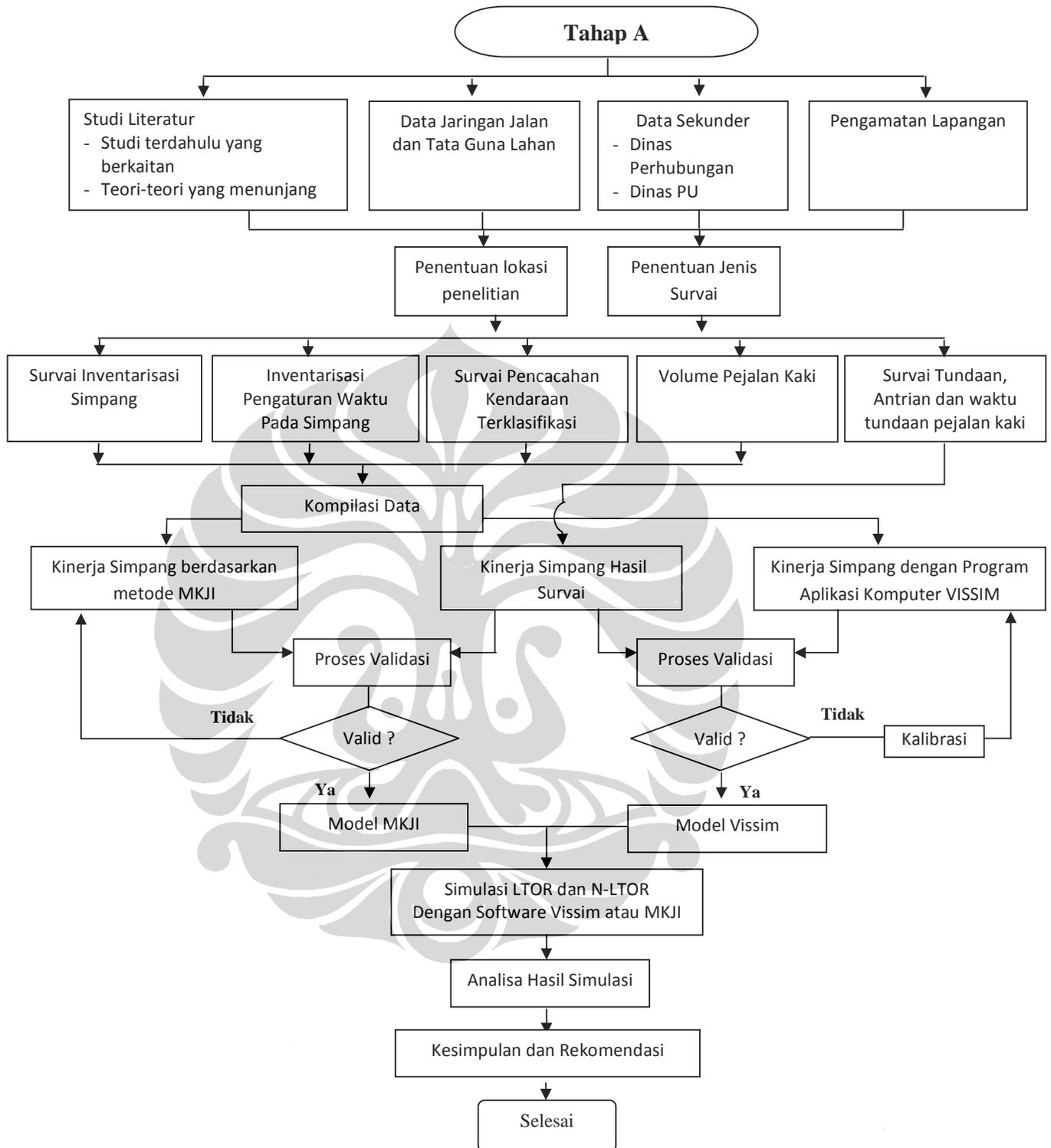
METODE PENELITIAN

3.1. Kerangka Pemikiran

Dalam melakukan suatu penelitian perlu disusun suatu kerangka pikiran sehingga para pembaca dapat mengetahui secara jelas tentang obyek dan langkah – langkah yang digunakan dalam penelitian. Dalam menyusun kerangka pikiran perlu diperhatikan jenis data yang diperlukan serta tahapan analisisnya dengan menggunakan metode ilmiah. Sehingga mampu mengidentifikasi permasalahan yang terjadi, yaitu permasalahan terkait efektifitas penerapan pelarangan belok kiri langsung pada pendekatan persimpangan. Agar proses penelitian yang dilakukan lebih terstruktur maka disusun kerangka pemikiran seperti pada Gambar 3.1 bagan alir metode penelitian sebagai berikut:







Gambar 3.1 Bagan Alir Penelitian

3.1. Metode Pengumpulan Data

Pengumpulan data dilakukan dengan dua cara, yaitu pengumpulan data primer melalui survai/pengamatan langsung di lapangan, serta pengumpulan data sekunder yang diperoleh dari instansi-instansi terkait, berupa data hasil studi atau informasi lain yang telah diolah sebelumnya.

3.2.1 Data primer

Data primer adalah data yang dikumpulkan melalui pengamatan/observasi langsung di lapangan. Survai-survai lalu lintas yang dilakukan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut :

1) Survai Inventarisasi persimpangan.

Survai inventarisasi persimpangan merupakan survai yang dilakukan untuk mendapatkan data tentang potongan melintang persimpangan, kondisi tata guna lahan sekitar persimpangan, serta informasi lain yang berguna sebagai bahan untuk menghitung arus jenuh (*saturation flow*). Data lain yang dikumpulkan adalah fasilitas jalan seperti rambu dan marka jalan.

a) Persiapan

Sebelum melakukan survai inventarisasi persimpangan perlu dilakukan persiapan-persiapan. Hal terpenting adalah persiapan mengenai teknik survai dan peralatan yang diperlukan sebelum melakukan survai inventarisasi persimpangan, yakni :

- *Walking Measure*
- Alat tulis dan kertas
- *Clipboard*

b) Teknik Survai

Survai inventarisasi persimpangan dilakukan dengan mengukur lebar kaki persimpangan, lebar bahu jalan dan trotoar, median serta mencatat kondisi tata guna lahan sekitar persimpangan juga fasilitas-fasilitas jalan yang ada.

2) Survai pencacahan gerakan membelok terklasifikasi (*Classified Turning Movement Counting*)

Survai pencacahan gerakan membelok terklasifikasi bertujuan untuk memperoleh data volume lalu lintas tiap kaki simpang, komposisi kendaraan, dan ratio gerakan membelok. Standar yang digunakan dalam penentuan klasifikasi kendaraan adalah Manual Kapasitas Jalan Indonesia (MKJI).

a) Persiapan

Persiapan meliputi teknik survai serta peralatan yang diperlukan dalam melakukan survai pencacahan gerakan membelok terklasifikasi. Adapun peralatan tersebut adalah sebagai berikut :

- Alat pencacah (*counter*);
- Alat tulis;
- *Clip board*;
- Formulir Survai yang telah didesain sedemikian rupa;
- Jam tangan / *stopwatch*

b) Teknik Survai :

Survai pada kaki simpang yang menjadi objek penelitian dilakukan selama 12 jam mulai pukul 06.00 – 18.00 WIB, hal tersebut bertujuan untuk mendapatkan data yang beragam tentang prosentase volume gerakan membelok, teknik survai dengan cara mencatat volume kendaraan pada masing-masing kaki persimpangan baik yang belok kiri, lurus, belok kanan sesuai dengan klasifikasi kendaraan yang telah ditentukan dan didesain dalam formulir survai. Survai pencacahan gerakan membelok dilakukan dengan durasi tiap 15 menit.

3) Survai Waktu Siklus

Survai waktu siklus dilakukan dengan tujuan untuk mengetahui waktu siklus optimal (*cycle time*) masing-masing tahap pada persimpangan kondisi saat ini. Survai ini terkait dengan panjang antrian dan tundaan yang timbul pada persimpangan.

a) Persiapan

Survai waktu siklus cukup sederhana pelaksanaannya dan tidak membutuhkan pelatihan yang khusus. Persiapan yang perlu diperhatikan adalah mengenai peralatan yang diperlukan untuk survai ini. Peralatan tersebut adalah :

- *Stopwatch*/jam tangan;
- Alat tulis;
- *Clipboard*

b) Teknik Survai

Survai dilakukan dengan mencatat waktu siklus masing-masing tahap pada kaki persimpangan. Untuk mendapat hasil yang lebih akurat, survai ini tidak hanya dilakukan sekali, namun beberapa kali sampai mendapatkan waktu siklus yang tepat.

4) Survai tundaan di persimpangan

Survai ini dilakukan untuk mengetahui tundaan/hambatan pada kaki persimpangan, survai tundaan dilakukan pada kaki persimpangan yang menjadi objek penelitian.

a) Persiapan

Survai tundaan cukup sederhana pelaksanaannya dan tidak membutuhkan pelatihan yang khusus. Persiapan yang perlu diperhatikan adalah mengenai peralatan yang diperlukan untuk survai ini. Peralatan tersebut adalah :

- *Stopwatch*/jam tangan;
- Alat tulis;
- *Clipboard*
- Formulir survai yang telah didesain sedemikian rupa.

b) Teknik Survai

Metode survai tundaan di persimpangan berikut ini merupakan metode yang sangat cepat dan mudah untuk dilakukan. Pada suatu

persimpangan, dua orang pengamat ditempatkan di kaki persimpangan, dimana:

1. pengamat (1) mencacah semua kendaraan yang memasuki persimpangan dari kaki persimpangan selama 5 menit, dimana kendaraan-kendaraan tersebut diklasifikasikan atas kendaraan yang terhenti dan tidak terhenti pada kaki persimpangan tersebut
2. pengamat (2) mencacah jumlah kendaraan yang terhenti dan sedang menunggu untuk memasuki persimpangan pada kaki persimpangan tersebut dalam setiap interval waktu 15 detik.

3.2.2 Data Sekunder

Data sekunder adalah data yang dikumpulkan dari Dinas Perhubungan pada masing-masing lokasi studi, yaitu data *layout* persimpangan dan setting APPIL. Data ini kemudian dibandingkan dengan hasil survai lapangan untuk mengetahui adanya perubahan-perubahan yang terjadi saat ini.

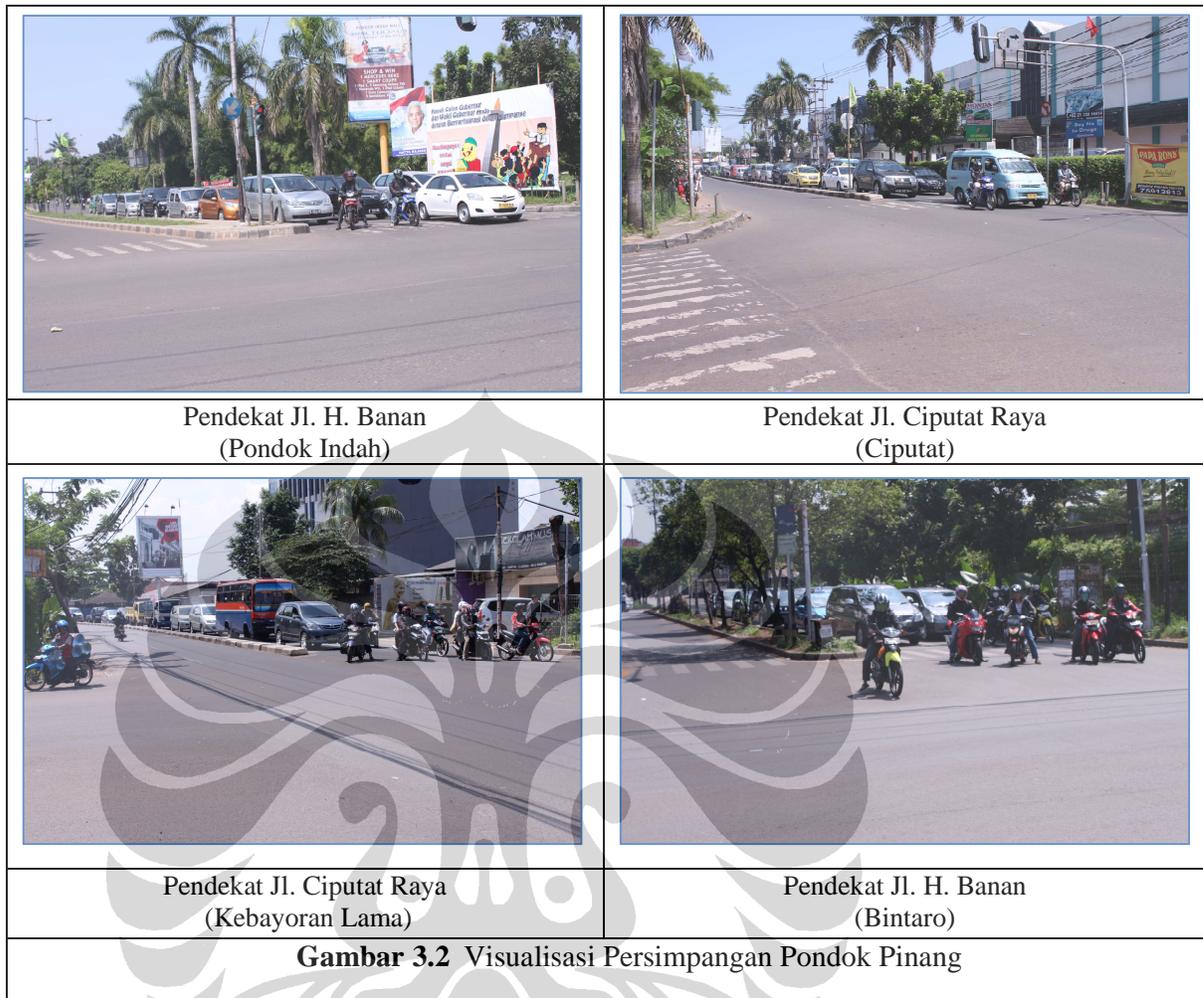
3.2. Kondisi Lokasi Penelitian

Lokasi penelitian terdiri dari 2 (dua) persimpangan yang dapat dilihat pada visualisasi simpang sebagai berikut :

a. Persimpangan Pondok Pinang

Persimpangan Pondok Pinang menghubungkan 4 ruas jalan yaitu :

- Jl. H. Banan Arah dari Bintaro, Tanah Kusir.
- Jl. Ciputat Raya Arah dari Kebayoran Lama.
- Jl. H. Banan Arah dari Pondok Indah
- Jl. Ciputat Raya Arah dari Lebak Bulus, Ciputat, Tol JORR





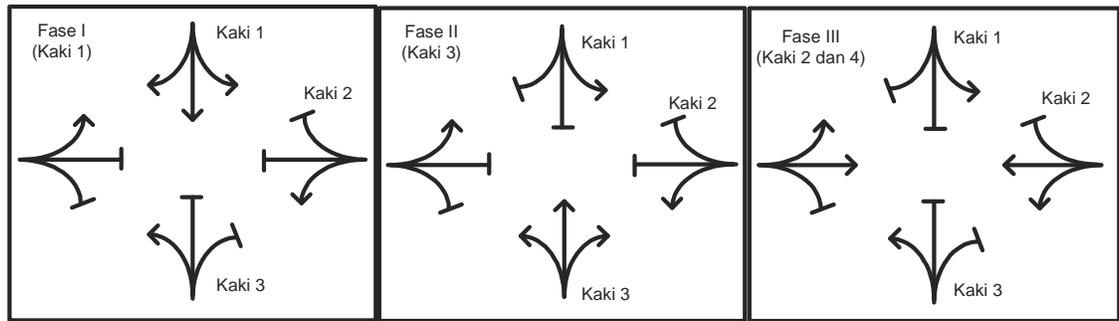
Gambar 3.3 Persimpangan Pondok Pinang

Pergerakan Fase

Persimpangan Pondok Pinang mempunyai 3 pergerakan fase pelepasan kendaraan ke dalam simpang, sebagai berikut :

1. Fase 1 (Pertama) ; kendaraan dari kaki simpang 1 yaitu pada jalan H. Banan dari arah Bintaro, Tanah Kusir
2. Fase 2 (Ke Dua) ; kendaraan dari arah kaki simpang 3 yaitu pada jalan H. Banan dari arah Pondok Indah
3. Fase 3 (Ke Tiga) ; kendaraan dari arah kaki simpang 2 dan kaki simpang 4 yaitu pada jalan Ciputat Raya.

Berikut visualisasi dari pergerakan tiap fasenya:



Gambar 3.4 Pengaturan Fase di Persimpangan Pondok Pinang

Keterangan

Kaki 1 ; Jalan H. Banan (Arah dari Bintaro, Tanah Kusir)

Kaki 2 ; Jalan Ciputat Raya (Arah dari Kebayoran Lama)

Kaki 3; Jalan H. Banan (Arah dari Pondok Indah)

Kaki 4 : Jalan Ciputat Raya (Arah dari Lebak Bulus, Ciputat, Tol JORR)

b. Persimpangan Plasa Bintaro

Persimpangan Plasa Bintaro menghubungkan 4 ruas jalan yaitu :

- Jl. Pondok Betung Arah Cipulir .
- Jl. Bintaro Utama Arah Tanah Kusir .
- Jl. Pondok Betung Arah Lebak Bulus
- Jl. Bintaro Utama Arah CBD Bintaro





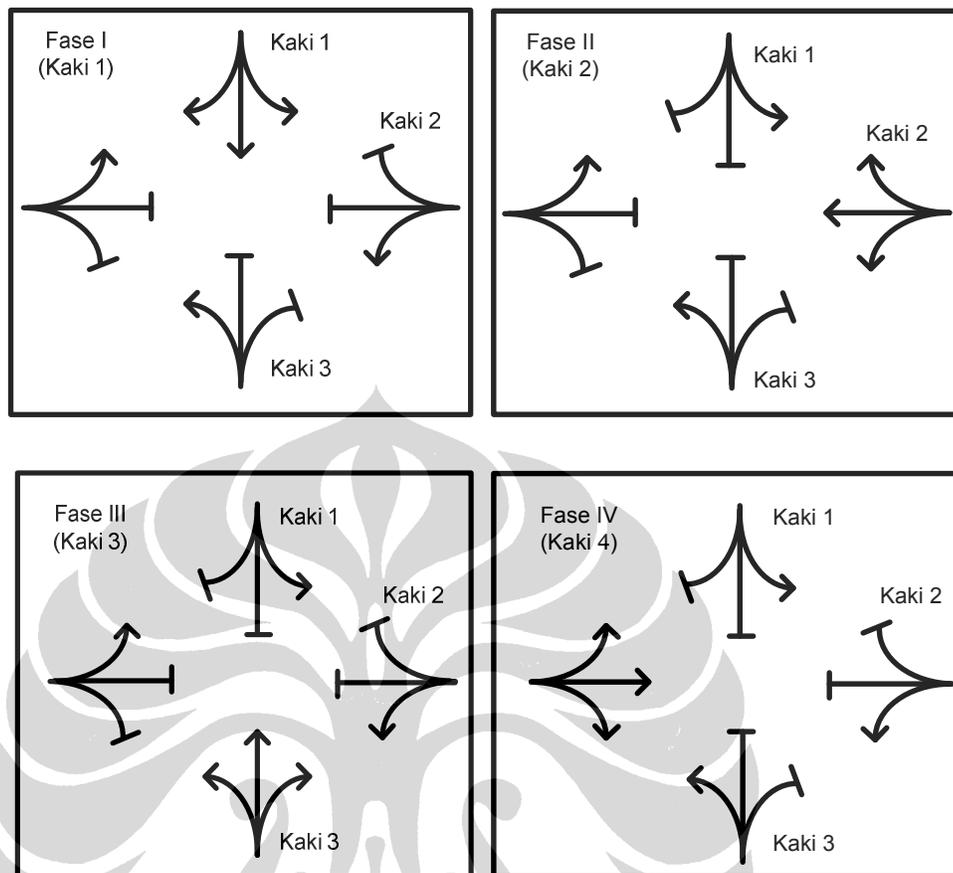
Gambar 3.6 Persimpangan Plasa Bintaro

Pergerakan Fase

Persimpangan Plasa Bintaro mempunyai 4 pergerakan fase pelepasan kendaraan ke dalam simpang, sebagai berikut :

1. Fase 1 (Pertama) ; kendaraan dari kaki simpang 1 yaitu pada jalan Pondok Betung Arah Cipulir
2. Fase 2 (Ke Dua) ; kendaraan dari arah kaki simpang 2 yaitu pada jalan Bintaro Utama Arah Tanah Kusir
3. Fase 3 (Ke Tiga) ; kendaraan dari arah kaki simpang 3 yaitu pada jalan Pondok Berung Arah Lebak Bulus
4. Fase 4 (Ke Empat) ; Kendaraan dari arah kaki simpang 4 yaitu pada jalan Bintaro Utama Arah CBD Bintaro

Berikut visualisasi dari pergerakan tiap fasenya:



Gambar 3.7 Pengaturan Fase di Persimpangan Plasa Bintaro

Keterangan

Kaki 1 :Jalan Pondok Betung (Arah Cipulir)

Kaki 2 :Jalan Bintaro Utama (Arah Tanah Kusir)

Kaki 3 : Jalan Pondok Betung (Arah Lebak Bulus)

Kaki 4 : Jalan Bintaro Utama (Arah CBD Bintaro)

BAB IV PENGOLAHAN DATA

4.1. Penyajian Data

Setelah dilakukan proses pengumpulan data baik data primer maupun sekunder, langkah selanjutnya adalah mengolah data tersebut dan disajikan dalam bentuk tabel maupun grafik sehingga lebih mudah untuk dipahami dan diambil kesimpulan. Data yang telah diolah juga memudahkan dalam proses analisis.

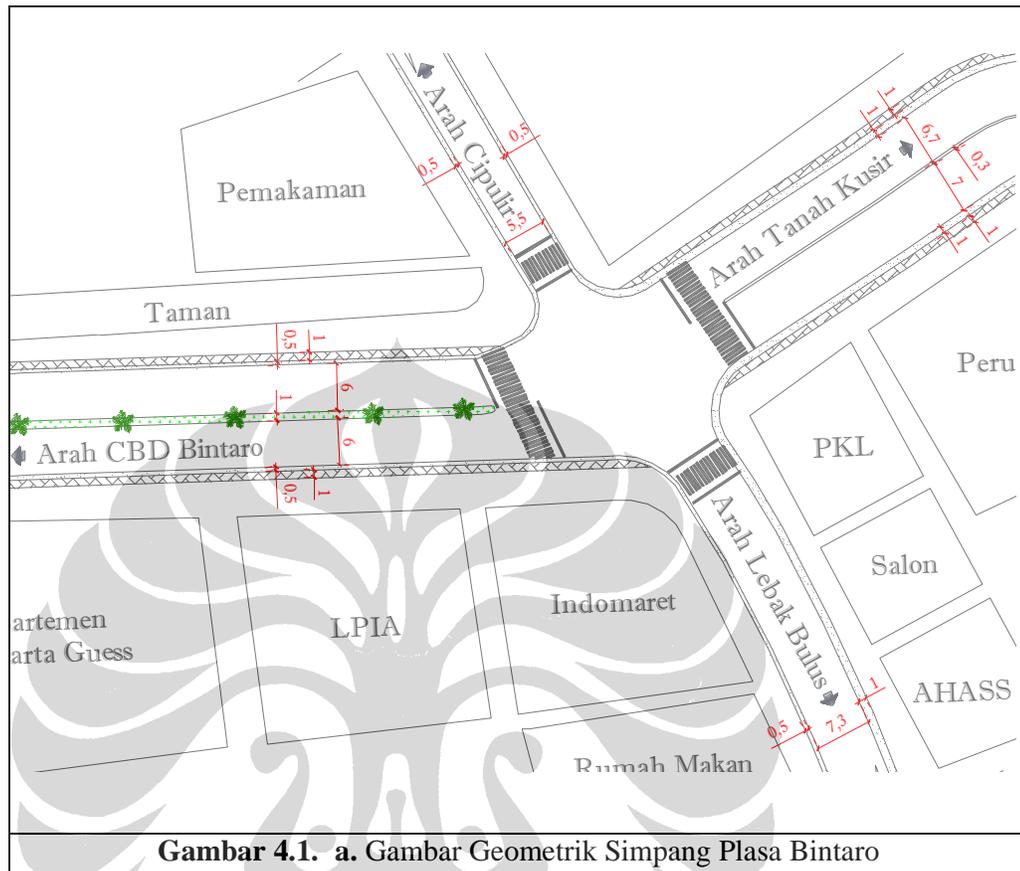
Berikut adalah hasil data yang telah diolah untuk masing-masing jenis survai.

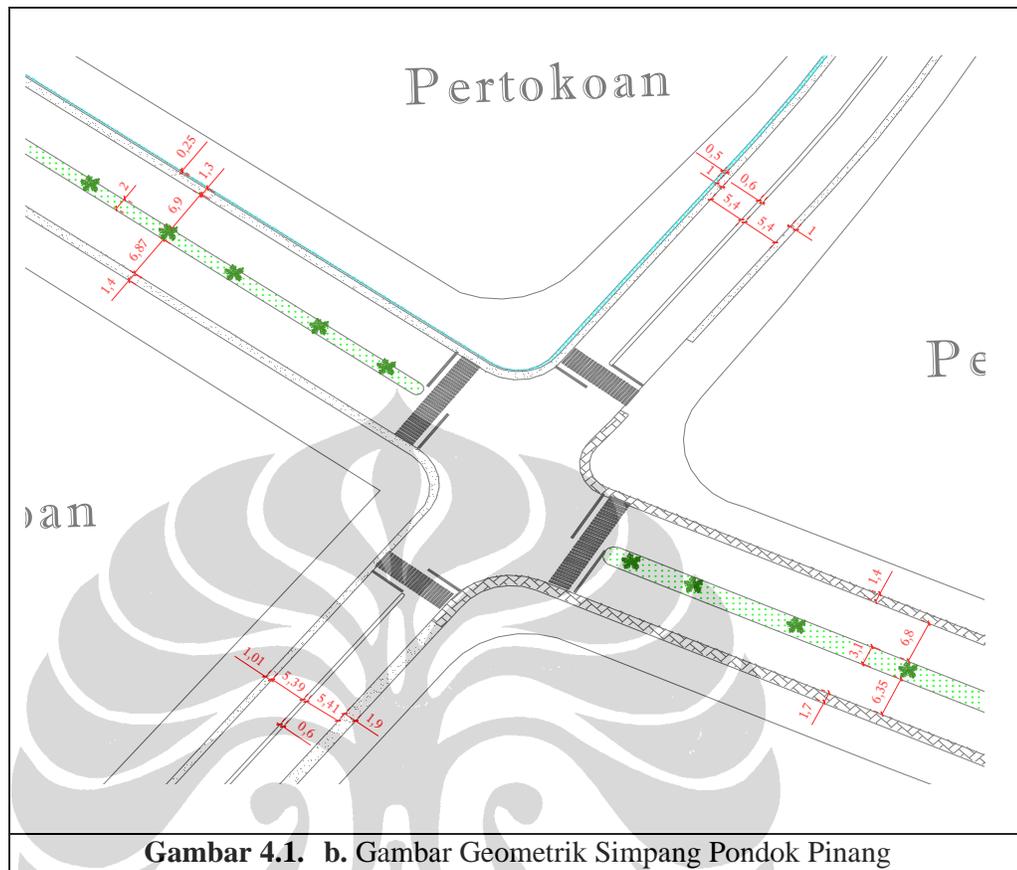
4.1.1 Data geometrik, pengaturan lalu lintas dan kondisi lingkungan lokasi penelitian

Berdasarkan hasil survai inventarisasi simpang terhadap lokasi penelitian maka didapatkan data geometrik simpang seperti pada tabel 4.1 dan gambar 4.1a, 4.1b, sebagai berikut:

Tabel 4.1 Data Geometrik Simpang Lokasi Penelitian

No	Simpang	Pendekat	Lebar (meter)		
			(Wa)	(We)	W_{LTOR}
1	Pondok Pinang	Arah Bintaro, Tanah Kusir	6,9	3,45	3,45
		Arah Kebayoran Lama	5,4	2,7	2,7
		Arah Pondok Indah	6,35	3,17	3,17
		Arah Lebak Bulus, Ciputat, Tol Jor	5,39	2,69	2,69
2	Plasa Bintaro	Arah Tanah Kusir	7	3,5	3,5
		Arah Cipulir	5,5	2,75	2,75
		Arah CBD Bintaro	6	3	3
		Arah Lebak Bulus	7,3	3,65	3,65





Pengaturan APILL (Alat Pemberi Isyarat Lalu Lintas) pada masing – masing lokasi penelitian dapat dilihat pada tabel 4.2 sebagai berikut :

Tabel 4.1 Data Pengaturan Sinyal APILL Lokasi Penelitian

No	Simpang	Waktu Hijau (g) detik				Intergreen (IG) detik	Siklus (c) detik
		Kaki I	Kaki II	Kaki III	Kaki IV		
1	Pondok Pinang	57	37	55	55	19	223
2	Plasa Bintaro	44	35	51	35	14	179

Berdasarkan hasil survai, kondisi tata guna lahan atau lingkungan di sekitar lokasi penelitian terdapat pada tabel 4.3 sebagai berikut :

Tabel 4.2 Kondisi Lingkungan Sekitar Lokasi Penelitian

No	Simpang	Pendekat	Tipe	Hambatan			Belok kiri
			lingkungan jalan (com/res/ra)	Samping (Tinggi/Rendah)	Median Ya/Tidak	kelayakan +/- %	langsung Ya/Tidak
1	Pondok Pinang	Arah Bintaro	com	Tinggi	Ya	-	Ya
		Arah Kebayoran Lama	com	Tinggi	Ya	-	Ya
		Arah Pondok Indah	com	Tinggi	Ya	-	Ya
		Arah Lebak Bulus, Ciputat	com	Tinggi	Ya	-	Ya
2	Plasa Bintaro	Arah Tanah Kusir	com	Tinggi	Ya	-	Ya
		Arah Cipulir	com	Tinggi	Tidak	-	Ya
		Arah CBD Bintaro	com	Tinggi	Ya	-	Ya
		Arah Lebak Bulus	com	Tinggi	Tidak	-	Ya

Selanjutnya data geometri, pengaturan APILL dan kondisi lingkungan diatas digunakan dalam analisis persimpangan ber APILL dengan menggunakan metode MKJI (Manual Kapasitas Jalan Indonesia).

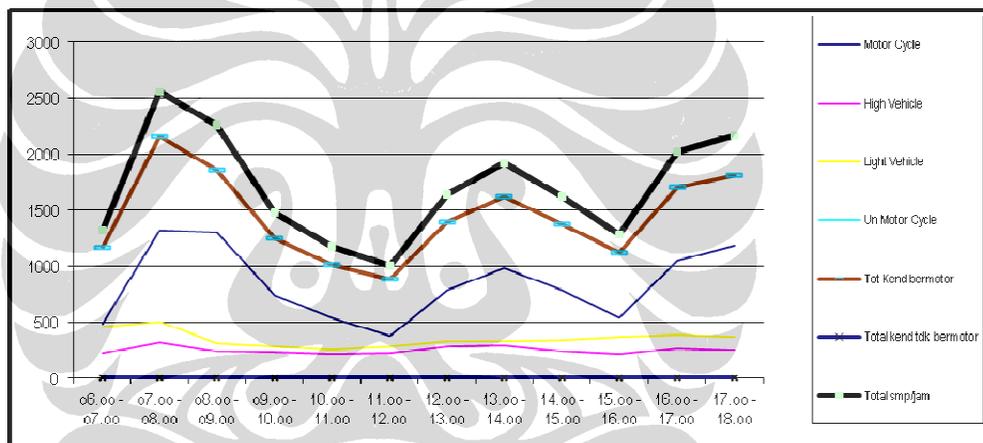
4.1.1 Kondisi Arus Lalu Lintas

Pada penelitian ini, data arus lalu lintas yang didapatkan berdasarkan hasil survai di lokasi penelitian diklasifikasikan berdasarkan pada jenis kendaraan ringan (*LV/Light Vehicle*), kendaraan berat (*HV/Heavy Vehicle*), sepeda motor (*MC/Motorcycle*) dan kendaraan tidak bermotor (*UM/Unmotorized*).

Komponen arus lalu lintas di persimpangan yang digunakan di dalam analisis adalah arus lalu lintas belok kiri (*LT/left turn*), arus lalu lintas lurus (*ST/straight*) dan arus lalu lintas belok kanan (*RT/right turn*).

Survei terhadap komponen arus lalu lintas yang digunakan dalam analisis tersebut dilakukan selama 12 jam yaitu mulai pukul 06.00 WIB sampai dengan pukul 18.00 WIB pada 2 simpang lokasi penelitian tersebut dengan interval 15 menit-an. Jumlah volume lalu lintas dalam satuan kendaraan tersebut di kalikan dengan emp (ekivalen mobil penumpang) untuk pendekat terlindung (*P/protected*).

Analisis penelitian ini menggunakan arus lalu lintas pada 1 jam periode tersibuk (*peak hour*) dengan satuan smp/jam pada masing-masing pendekat dari lokasi penelitian tersebut. Sebagai contoh grafik fluktuasi arus lalu lintas pada lokasi penelitian Simpang Pondok Pinang untuk pendekat jl. H. Banan arah Bintaro dapat dilihat pada gambar 4.2 sebagai berikut :



Gambar 4.2 Grafik Fluktuasi Volume Lalu Lintas

Pada simpang pondok pinang untuk pendekat jl. H. Banan arah Bintaro tersebut, periode 1 jam puncak tersibuk terjadi pada pukul 07.00-08.00 WIB. Sedangkan rekapitulasi gerakan membelok pada masing-masing pendekat didapat periode 1 jam puncak tersibuk terdapat pada tabel 4.4 sebagai berikut :

Tabel 4.3 Periode Jam Puncak (*Peak Hour*)

No	Simpang	Pendekat (Arah)	Periode 15 Menit Puncak		Periode Jam Puncak	
			Waktu	Smp/Jam	Waktu	Smp/Jam
1	Pondok Pinang	Bintaro, Tanah Kusir	07.45-08.00	775,2	07.00-08.00	2564,2
		Kebayoran Lama	07.45-08.00	695,1	07.00-08.00	2028,2
		Pondok Indah	07.45-08.00	984,5	07.00-08.00	3296,4
		Lebak Bulus, Ciputat	07.45-08.00	725,9	07.00-08.00	2320,8
2	Plasa Bintaro	Tanah Kusir	07.45-08.00	787,9	07.00-08.00	2480,7
		Cipulir	07.45-08.00	523,6	07.00-08.00	1824,6
		CBD Bintaro	08.00-08.15	822,5	07.00-08.00	2911,6
		Lebak Bulus	16.45-17.00	535,7	17.00-18.00	2053,9

Untuk rekapitulasi survai gerakan membelok maupun grafik volume masing-masing pendekat lokasi penelitian dapat dilihat pada lampiran 1.

4.1.2 Parameter Arus Lalu Lintas

4.1.3.1 Waktu Tundaan Lalu Lintas

Survai tundaan dilaksanakan pada lokasi penelitian dengan karakteristik pendekat tidak terkanalisasi dan menerapkan sistem belok kiri langsung. Survai tundaan dilaksanakan pada periode jam sibuk selama 30 menit dengan interval survai tundaan per 5 menit-an.

Survai dilaksanakan dengan tujuan untuk mengetahui tundaan rata-rata per satuan mobil penumpang (smp) pada tiap pendekat. Klasifikasi jenis kendaraan yang dipergunakan adalah kendaraan ringan (*LV/Light Vehicle*), kendaraan berat (*HV/Heavy Vehicle*), dan sepeda motor (*MC/Motorcycle*).

Survai dilakukan dengan mencatat jumlah kendaraan yang berhenti atau menunggu di pendekat dan arus yang masuk ke pendekat yang terbagi dalam interval 15 detik-an selama 5 menit.

Hasil rekapitulasi tundaan pada pendekat simpang Pondok Pinang dan Plasa Bintaro yang dilaksanakan pada pukul 07.00-07.30 WIB dapat dilihat pada

Universitas Indonesia

tabel 4.5. Dimana untuk masing-masing jenis kendaraan dikalikan dengan faktor emp untuk jenis pendekat terlindung (*P/protected*), sehingga hasil rekapitulasi survai tundaan di lokasi penelitian ini berupa satuan mobil penumpang (smp) sebagai berikut :

Tabel 4.4 Hasil Survai Tundaan pada periode Jam 07.00-07.30
Simpang Pondok Pinang dan Plasa Bintaro

		Nilai Tundaan per Pendekat							
Lokasi	Periode	Bintaro		Kebayoran Lama		Pondok Indah		Lebak Bulus	
		Total detik/smp	Rata - rata detik/smp	Total detik/smp	Rata - rata detik/smp	Total detik/smp	Rata - rata detik/smp	Total detik/smp	Rata - rata detik/smp
Pondok Pinang	07.00 - 07.05	9150	68,5	9066	84,4	10855,5	70,4	10363,5	70,2
	07.05 - 07.10	9489	69,9	9003	81,9	10921,5	68,9	10432,5	68,1
	07.10 - 07.15	10443	72,3	10878	68,8	12216	74,9	11892	75,5
	07.15 - 07.20	10023	69,8	11038,5	92,2	11752,5	71,5	11728,5	70,3
	07.20 - 07.25	27954	75,9	10410	85,6	11995,5	70,9	11490	70,3
	07.25 - 07.30	10834,5	68,7	10756,5	82,7	11959,5	68,3	11503,5	68,4
		Nilai Tundaan per Pendekat							
Lokasi	Periode	Tanah Kusir		Cipulir		CBD Bintaro		Lebak Bulus	
		Total detik/smp	Rata - rata detik/smp	Total detik/smp	Rata - rata detik/smp	Total detik/smp	Rata - rata detik/smp	Total detik/smp	Rata - rata detik/smp
Plasa Bintaro	07.00 - 07.05	4324,5	58,0	4149	63,5	7627,5	53,3	5488,5	66,6
	07.05 - 07.10	4695	56,6	5788,5	65,6	7905	54,6	4429,5	63,5
	07.10 - 07.15	5050,5	57,3	4762,5	64,1	8296,5	55,3	6189	64,3
	07.15 - 07.20	5349	56,2	5097	65,3	8530,5	53,9	6490,5	64,3
	07.20 - 07.25	5659,5	57,1	5460	65,2	8907	54,2	6921	65,7
	07.25 - 07.30	5935,5	57,1	5716,5	64,4	9279	55,6	7204,5	66,2

Sedangkan hasil rekapitulasi survai tundaan setiap pendekat pada lokasi penelitian lainnya dapat dilihat pada lampiran 2.

4.1.3.2 Panjang Antrian Lalu Lintas

Survai panjang antrian lalu lintas dilakukan di masing – masing pendekatan persimpangan lokasi penelitian. Survai ini dilaksanakan pada periode jam sibuk dengan interval pengamatan setiap awal sinyal merah sampai awal sinyal hijau sebanyak beberapa kali waktu siklus lampu lalu lintas.

Survai dilakukan dengan tujuan untuk mengetahui panjang antrian kendaraan setiap pendekatan persimpangan selama waktu sinyal merah. Metode yang digunakan yaitu dengan mencatat panjang antrian yang tersisa dari sinyal hijau dan panjang antrian tambahan pada waktu sinyal merah.

Pada tabel 4.6 berikut adalah hasil rekapitulasi panjang antrian pada simpang Pondok Pinang dan Plasa Bintaro yang dilaksanakan pada pukul 07.00-07.30 WIB:

Tabel 4.5 Hasil Survai Panjang Antrian pada periode Jam 07.00-07.30 Simpang Pondok Pinang dan Plasa Bintaro

Lokasi	Waktu Sinyal Merah	Panjang Antrian (QL)			
		Bintaro meter	Kebayoran Lama meter	Pondok Indah meter	Lebak Bulus meter
Pondok Pinang	1	387,2	236,4	408,7	367,1
	2	372,8	241,3	391,6	371,2
	3	386,4	224,5	398,5	341,5
	4	401,6	237,8	401,3	348,3
	5	399	234,1	403,5	341,2
	6	376,8	235,5	405,2	356,3
	7	379,2	233,4	400,2	351,1
	8	381,4	245,2	393,1	347,7
	9	374,1	237,1	406,2	346,4
	10	393,1	241,1	399,2	353,1
	11	389,5	240,5	404,4	361,2
	12	387,3	235,3	397,2	345,2

Lokasi	Waktu Sinyal Merah	Nilai Tundaan per Pendekat			
		Tanah Kusir meter	Cipulir meter	CBD Bintaro meter	Lebak Bulus meter
Plasa Bintaro	1	298,2	243,2	352,1	247,2
	2	293,3	229,1	357,4	251,5
	3	287,1	223,5	341,8	256,6
	4	281,4	231,5	348,6	247,9
	5	280,9	226,9	352,4	246,7
	6	290,1	237,5	339,6	267,9
	7	301,1	237,1	340,3	256,3
	8	290,5	226,7	344,8	249,4
	9	298,2	228,1	342,3	251,4
	10	287,2	235,3	367,4	256,3
	11	281,1	230,2	354,4	248,2
	12	279,9	234,2	241,4	345,2

Hasil rekapitulasi survai panjang antrian lalu lintas setiap pendekat pada lokasi penelitian dapat dilihat pada lampiran 3.

4.1.3.3 Volume dan waktu tundaan pejalan kaki menyeberang

Survai volume dan waktu tundaan pejalan kaki menyeberang dilakukan pada masing – masing pendekat persimpangan lokasi penelitian. Survai ini dilaksanakan pada periode jam sibuk selama 30 menit pengamatan.

Survai dilakukan dengan tujuan untuk mengetahui waktu tundaan pejalan kaki untuk menyeberang pada pendekat persimpangan dalam sistem lalu lintas dan pengaturan waktu lampu lalu lintas.

Sebagai contoh adalah hasil rekapitulasi waktu tundaan pejalan kaki menyeberang pada pendekat simpang Pondok Pinang yang dilaksanakan pada pukul 07.00-07.30 WIB seperti pada tabel 4.7 sebagai berikut :

Tabel 4.6 Hasil Survai Tundaan Pejalan Kaki pada periode Jam 07.00-07.30
Simpang Pondok Pinang

Kaki Pendekat Simpang	Waktu Survai	Jumlah Pejalan kaki	Tundaan Rata-Rata Pejalan kaki (detik)
Arah Bintaro, Tanah Kusir	00.00 - 00.05	5	56
	00.05 - 00.10	7	49
	00.10 - 00.15	9	53
	00.15 - 00.20	3	54
	00.20 - 00.25	4	48
	00.25 - 00.30	3	50
Rata-rata			51,7
Arah Kebayoran Lama	00.00 - 00.05	2	66
	00.05 - 00.10	4	69
	00.10 - 00.15	2	71
	00.15 - 00.20	3	61
	00.20 - 00.25	4	70
	00.25 - 00.30	6	64
Rata-rata			66,8
Arah Pondok Indah	00.00 - 00.05	5	56
	00.05 - 00.10	4	54
	00.10 - 00.15	2	50
	00.15 - 00.20	4	49
	00.20 - 00.25	3	51
	00.25 - 00.30	2	55
Rata-rata			52,5
Arah Lebak Bulus, Ciputat, Tol Jor	00.00 - 00.05	6	55
	00.05 - 00.10	3	50
	00.10 - 00.15	4	53
	00.15 - 00.20	2	52
	00.20 - 00.25	3	58
	00.25 - 00.30	5	60
Rata-rata			54,7

Hasil rekapitulasi survai volume dan waktu tundaan pejalan kaki menyeberang setiap pendekat pada lokasi penelitian dapat dilihat pada lampiran 3.

4.1. Analisis Persimpangan Dengan Metode MKJI

Setelah didapatkan data lapangan dari hasil survai langkah selanjutnya adalah melakukan analisis dengan menggunakan model MKJI (Manual Kapasitas Jalan Indonesia). Hasil analisa model MKJI nantinya akan di lakukan proses validasi dengan data lapangan sehingga dapat diketahui model valid atau tidak sehingga dapat digunakan dalam proses simulasi.

Hasil data yang telah dianalisis untuk masing-masing jenis perilaku lalu lintas adalah sebagai berikut:

4.2.1 Analisis Antrian Lalu Lintas

Panjang antrian merupakan jumlah rata rata antrian kendaraan pada awal sinyal hijau (NQ) dihitung sebagai jumlah smp yang tersisa dari fase hijau sebelumnya (NQ1) ditambah jumlah smp yang datang selama fase merah (NQ2). Untuk perhitungannya digunakan persamaan 2.13 – 2.17 dengan hasil perhitungan sebagai berikut:

Pada tabel 4.8 disajikan hasil analisis panjang antrian pada pendekatan simpang Pondok Pinang dan Plasa Bintaro dengan menggunakan model MKJI:

Tabel 4.7 Hasil Perhitungan Panjang Antrian Pendekat
Simpang Pondok Pinang dan Plasa Bintaro

Lokasi	Pendekat (Arah)	W masuk (meter)	NQ2 (smp)	NQ (smp)	NQ MAX	QL (meter)
Pondok Pinang	Bintaro	3,45	51,66	51,66	71,14	412,43
	Kebayoran Lama	2,7	23,65	23,65	34,35	254,41
	Pondok Indah	3,2	49,54	49,54	68,35	427,21
	Lebak Bulus	2,7	36,30	36,30	50,96	377,52
Plasa Bintaro	Tanah Kusir	3,5	39,01	39,01	54,53	311,58
	Cipulir	3,65	32,44	32,44	45,89	251,46
	CBD Bintaro	3	39,99	39,99	55,81	372,08
	Lebak Bulus	2,75	25,79	25,79	37,15	270,19

Dari hasil analisis tersebut maka didapatkan nilai NQ_2 sebesar 51,66 smp sehingga total antrian (NQ) adalah 51,66 smp dengan panjang antrian (QL) 412,43 meter.

Rekapitulasi hasil analisis panjang antrian lalu lintas dengan model MKJI untuk masing-masing pendekatan pada lokasi penelitian dapat dilihat pada lampiran 4.

4.2.2 Waktu Tundaan Lalu Lintas

Tundaan merupakan waktu tempuh tambahan yang diperlukan untuk melalui simpang apabila dibandingkan lintasan tanpa melalui simpang. Tundaan terdiri dari Tundaan Lalu lintas (DT) dan Tundaan Geometri (DG). Tundaan lalu lintas merupakan waktu menunggu yang terjadi akibat interaksi lalu lintas dengan gerakan lalu lintas yang bertentangan. Tundaan geometri adalah waktu tambahan yang disebabkan oleh perlambatan dan percepatan kendaraan yang membelok di persimpangan dan/atau yang terhenti di persimpangan karena lampu merah. Untuk perhitungannya digunakan persamaan 2.18 – 2.20 dengan hasil perhitungan sebagai berikut:

Angka-angka pada masing-masing parameter dalam perhitungan nilai tundaan kendaraan dapat dilihat pada out put dari analisis menggunakan model MKJI pada tabel 4.9 sebagai berikut:

Tabel 4.8 Hasil Perhitungan Tundaan Pendekat
Simpang Pondok Pinang

Lokasi	Periode	Nilai Tundaan per Pendekat							
		Bintaro		Kebayoran Lama		Pondok Indah		Lebak Bulus	
		Total detik.smp	Rata - rata detik/smp	Total detik/smp	Rata - rata detik/smp	Total detik/smp	Rata - rata detik/smp	Total detik/smp	Rata - rata detik/smp
Pondok Pinang	07.00 - 07.05	9132,83	68,06	8919,34	84,15	10817,91	70,24	10340,75	69,52
	07.05 - 07.10	9416,61	68,14	8962,73	81,48	10844,07	68,63	10332,93	67,65
	07.10 - 07.15	10314,58	72,03	10701,76	68,63	12129,76	74,41	11876,91	75,29
	07.15 - 07.20	9985,80	68,31	9981,87	84,60	11703,81	70,50	11233,80	69,89
	07.20 - 07.25	10200,02	68,37	10249,28	84,71	11926,31	70,56	11458,53	69,98
	07.25 - 07.30	10486,41	68,06	10303,70	82,43	11941,35	67,65	11449,80	68,26

Lokasi	Periode	Nilai Tundaan per Pendekat							
		Tanah Kusir		Cipulir		CBD Bintaro		Lebak Bulus	
		Total detik/smp	Rata - rata detik/smp	Total detik/smp	Rata - rata detik/smp	Total detik/smp	Rata - rata detik/smp	Total detik/smp	Rata - rata detik/smp
Plasa Bintaro	07.00 - 07.05	4299,86	55,29	3923,96	62,49	7544,71	51,97	5342,64	63,42
	07.05 - 07.10	4583,23	55,37	5670,14	63,53	7818,13	52,06	4242,52	62,58
	07.10 - 07.15	4924,41	55,47	4626,01	62,69	8147,49	52,17	6064,74	63,67
	07.15 - 07.20	5209,69	55,55	4946,61	62,78	8423,02	52,26	6394,91	63,79
	07.20 - 07.25	5553,17	55,66	5332,56	62,89	8754,93	52,37	6792,73	63,93
	07.25 - 07.30	5782,86	55,72	5590,60	62,96	8976,98	52,45	7058,93	64,03

Berdasarkan hasil analisis tersebut nilai tundaan rata-rata (D) untuk pendekat arah Bintaro pada persimpangan Pondok Pinang adalah $DT + DG = 68.1$ detik/smp.

Rekapitulasi hasil analisis tundaan kendaraan dengan model MKJI untuk masing-masing pendekat pada lokasi penelitian dapat dilihat pada lampiran 4.

4.2.3 Analisis Waktu Tundaan Pejalan Kaki Menyeberang

Tundaan telah diterima secara luas sebagai indeks kinerja utama untuk persimpangan bersinyal, sehingga perlu untuk memperkirakan tundaan untuk semua sistem lalu lintas yang terkait di persimpangan bersinyal. Salah satu dari bentuk lalu lintas adalah pejalan kaki dan hal ini tidak dapat terpisahkan dari sistem transportasi jalan.

Untuk proses perhitungannya digunakan persamaan 2.21 dengan hasil perhitungan sebagai berikut:

Hasil analisis dengan menggunakan model Virkler 1998 pada lokasi penelitian dapat dilihat pada tabel 4.10 sebagai berikut :

Tabel 4.9 Hasil Perhitungan Tundaan Pejalan Kaki
Pada Lokasi Penelitian

Lokasi	Pendekat (Arah)	Parameter				Tundaan Rata - Rata Pejalan kaki (detik)
		C (detik)	G (detik)	A (detik)	$(G+0.69A)$	$((C-(G+0.69A))^2 / (2*C))$
Pondok Pinang	Bintaro	223	57	19	70,11	61,27
	Kebayoran Lama	223	37	19	50,11	77,00
	Pondok Indah	223	55	19	68,11	62,76
	Lebak Bulus	223	55	19	68,11	62,76
Plasa Bintaro	Tanah Kusir	179	44	14	53,7	50,4
	Cipulir	179	35	14	44,7	57,4
	CBD Bintaro	179	51	14	60,7	45,3
	Lebak Bulus	179	35	14	44,7	57,4

4.2. Validasi dengan Uji Chi-Square

Setelah dilakukan analisis kinerja simpang pada masing-masing lokasi penelitian, langkah selanjutnya adalah melakukan validasi survai di lokasi penelitian dengan hasil analisis menggunakan model MKJI. Metode yang dipakai dalam validasi ini adalah menggunakan uji statistik *chi-square*. Metode *chi-square* ini digunakan untuk menguji kesesuaian data apakah distribusi yang digunakan sesuai dengan distribusi dari data yang dihadapi atau tidak. Validasi diperlukan agar tidak ada perbedaan yang signifikan antara data lapangan dan hasil model.

Untuk proses perhitungannya digunakan persamaan 2.22 dengan hasil perhitungan sebagai berikut

4.3.1 Model MKJI Dengan Hasil Survei Lapangan

4.3.1.1 Waktu Tundaan Kendaraan

Hasil analisa uji *chi-square* terhadap nilai tundaan yang dilakukan pada persimpangan Pondok Pinang dan Plasa Bintaro terdapat pada tabel 4.11 sebagai berikut :

Tabel 4.10 Perhitungan Chi Square Untuk Validasi Model Tundaan
Simpang Pondok Pinang dan Plasa Bintaro

Lokasi	Periode	Nilai χ^2 per Pendekat (Uji chi-square tundaan kendaraan)							
		Bintaro		Kebayoran Lama		Pondok Indah		Lebak Bulus	
		$(O_i - E_i)^2/E_i$	χ^2	$(O_i - E_i)^2/E_i$	χ^2	$(O_i - E_i)^2/E_i$	χ^2	$(O_i - E_i)^2/E_i$	χ^2
Pondok Pinang	07.00 - 07.05	0,0034		0,0008		0,0006		0,0069	
	07.05 - 07.10	0,0441		0,0023		0,0011		0,0036	
	07.10 - 07.15	0,0011	0,92	0,0005	0,70	0,0039	0,03	0,0006	0,02
	07.15 - 07.20	0,0326		0,6865		0,0151		0,0021	
	07.20 - 07.25	0,8265		0,0095		0,0016		0,0012	
	07.25 - 07.30	0,0070		0,0012		0,0055		0,0004	
Lokasi	Periode	Nilai χ^2 per Pendekat (Uji chi-square tundaan kendaraan)							
		Tanah Kusir		Cipulir		CBD Bintaro		Lebak Bulus	
		$(O_i - E_i)^2/E_i$	χ^2	$(O_i - E_i)^2/E_i$	χ^2	$(O_i - E_i)^2/E_i$	χ^2	$(O_i - E_i)^2/E_i$	χ^2
Plasa Bintaro	07.00 - 07.05	0,1303		0,0176		0,0321		0,1605	
	07.05 - 07.10	0,0289		0,0643		0,1192		0,0124	
	07.10 - 07.15	0,0622	0,30	0,0318	0,33	0,1843	0,64	0,0068	0,31
	07.15 - 07.20	0,0086		0,1051		0,0505		0,0035	
	07.20 - 07.25	0,0379		0,0818		0,0646		0,0468	
	07.25 - 07.30	0,0353		0,0318		0,1892		0,0748	

Berdasarkan analisis tersebut, nilai χ^2 hasil hitung pendekat Bintaro adalah 0.92 dan χ^2 hasil hitung pendekat Kebayoran Lama adalah 0.70. Jumlah baris (k) = 6, sehingga $df = 6-1 = 5$.

χ^2 tabel untuk $\alpha = 0.05$, $k=5$ adalah 11.07, maka dapat ditarik kesimpulan bahwa $0.9 < 11.07$ dan $0.7 < 11.07$ atau χ^2 hitung $< \chi^2$ tabel atau berarti bahwa H_0 diterima sehingga hasil survai (O_i) = hasil model (E_i).

Rekapitulasi hasil analisis uji *chi-square* terhadap nilai tundaan yang dilakukan pada masing-masing pendekatan dapat dilihat pada lampiran 5.

4.3.1.2 Panjang Antrian Kendaraan

Hasil analisa uji *chi-square* terhadap panjang antrian yang dilakukan pada persimpangan Pondok Pinang dan Plasa Bintaro terdapat pada tabel 4.12 sebagai berikut :

Tabel 4.11 Perhitungan Chi Square Untuk Validasi Model Panjang Antrian Simpang Pondok Pinang dan Plasa Bintaro

Nilai χ^2 per Pendekat (Uji chi-square panjang antrian kendaraan)									
Lokasi	Periode	Bintaro		Kebayoran Lama		Pondok Indah		Lebak Bulus	
		($O_i - E_i$)/ E_i	χ^2	($O_i - E_i$)/ E_i	χ^2	($O_i - E_i$)/ E_i	χ^2	($O_i - E_i$)/ E_i	χ^2
Pondok Pinang	07.00 - 07.05	1,543		1,275		0,802		0,288	
	07.05 - 07.10	3,808		0,676		2,968		0,106	
	07.10 - 07.15	1,643	10,79	3,516	9,58	1,929	9,72	3,437	10,78
	07.15 - 07.20	0,284		1,084		1,571		2,262	
	07.20 - 07.25	0,437		1,621		1,316		3,494	
	07.25 - 07.30	3,078		1,406		1,134		1,193	
Nilai χ^2 per Pendekat (Uji chi-square panjang antrian kendaraan)									
Lokasi	Periode	Tanah Kusir		Cipulir		CBD Bintaro		Lebak Bulus	
		($O_i - E_i$)/ E_i	χ^2	($O_i - E_i$)/ E_i	χ^2	($O_i - E_i$)/ E_i	χ^2	($O_i - E_i$)/ E_i	χ^2
Plasa Bintaro	07.00 - 07.05	0,575		0,271		1,073		3,068	
	07.05 - 07.10	1,073		1,988		0,580		1,956	
	07.10 - 07.15	1,924	11,00	3,108	10,12	2,465	9,48	1,293	10,88
	07.15 - 07.20	2,924		1,584		1,482		0,684	
	07.20 - 07.25	3,022		2,398		1,041		1,839	
	07.25 - 07.30	1,481		0,775		2,836		2,042	

Berdasarkan analisis tersebut, nilai χ^2 hasil hitung pendekatan Bintaro adalah 10,79 dan χ^2 hasil hitung pendekatan Kebayoran Lama adalah 9,58. Jumlah baris (k) = 6, sehingga $df = 6-1 = 5$.

χ^2 tabel untuk $\alpha = 0.05$, $k=5$ adalah 11.07, maka dapat ditarik kesimpulan bahwa $10,79 < 11.07$ dan $9,58 < 11.07$ atau χ^2 hitung $< \chi^2$ tabel atau berarti bahwa H_0 diterima sehingga hasil survai (O_i) = hasil model (E_i).

Rekapitulasi hasil analisis uji *chi-square* terhadap nilai panjang antrian kendaraan yang dilakukan pada masing-masing pendekatan dapat dilihat pada lampiran 5.

4.3.1.3 Waktu Tundaan Pejalan Kaki Menyeberang

Hasil analisa uji *chi-square* terhadap nilai tundaan pejalan kaki yang dilakukan pada persimpangan Pondok Pinang dan Plasa Bintaro terdapat pada tabel 4.13 sebagai berikut :

Tabel 4.12 Perhitungan Chi Square Untuk Validasi Model Tundaan Pejalan Kaki Lokasi Penelitian

Nilai χ^2 per Pendekat (Uji chi-square tundaan pejalan kaki menyeberang)									
Lokasi	Periode	Bintaro		Kebayoran Lama		Pondok Indah		Lebak Bulus	
		$(O_i - E_i)^2/E_i$	χ^2						
Pondok Pinang	07.00 - 07.05	0,45		1,57		0,73		0,96	
	07.05 - 07.10	2,46		0,83		1,22		2,59	
	07.10 - 07.15	1,12	9,84	0,47	9,03	2,59	10,73	1,52	7,40
	07.15 - 07.20	0,86		3,32		3,02		1,84	
	07.20 - 07.25	2,87		0,64		2,20		0,36	
	07.25 - 07.30	2,07		2,19		0,96		0,12	

Nilai χ^2 per Pendekat (Uji chi-square tundaan pejalan kaki menyeberang)									
Lokasi	Periode	Tanah Kusir		Cipulir		CBD Bintaro		Lebak Bulus	
		$(O_i - E_i)^2/E_i$	χ^2						
Plasa Bintaro	07.00 - 07.05	1,084		1,53		1,17		2,25	
	07.05 - 07.10	0,003		1,87		2,33		1,53	
	07.10 - 07.15	1,750	8,13	2,67	9,05	0,61	10,11	0,95	7,23
	07.15 - 07.20	2,142		0,50		0,87		0,33	
	07.20 - 07.25	0,577		0,95		2,81		1,22	
	07.25 - 07.30	2,575		1,53		2,33		0,95	

Berdasarkan analisis tersebut, nilai χ^2 hasil hitung pendekat Bintaro adalah 9,84 dan χ^2 hasil hitung pendekat Kebayoran Lama adalah 9,03. Jumlah baris (k) = 6, sehingga $df = 6-1 = 5$.

χ^2 tabel untuk $\alpha = 0.05$, $k=5$ adalah 11.07, maka dapat ditarik kesimpulan bahwa $9,84 < 11.07$ dan $9,03 < 11.07$ atau χ^2 hitung $< \chi^2$ tabel atau berarti bahwa H_0 diterima sehingga hasil survai (O_i) = hasil model (E_i).

Rekapitulasi hasil analisis uji *chi-square* terhadap tundaan pejalan kaki menyeberang yang dilakukan pada masing-masing pendekat dapat dilihat pada lampiran 5.

4.3.2 Validasi Software Vissim dengan hasil survai lapangan

Validasi terhadap Software Vissim perlu dilakukan dengan tujuan untuk membuktikan valid atau tidaknya software tersebut dijadikan sebagai alat untuk simulasi terkait pengaruh penerapan pelarangan belok kiri terhadap kinerja persimpangan. Dalam proses validasi tersebut telah dilakukan langkah – langkah kalibrasi atau penyesuaian – penyesuaian parameter dalam program dengan harapan hasil analisa yang didapatkan sesuai dengan hasil survai lapangan. Akan tetapi dalam proses kalibrasi yang sudah dilakukan belum ditemukan kondisi dimana hasil dari program vissim sesuai dengan kondisi di lapangan. Untuk proses kalibrasi yang sudah dilakukan dapat dilihat pada tabel berikut:

Tabel 4.13 Hasil Kalibrasi dan perubahan parameter

No	Hasil Running		Perubahan Parameter
	Tundaan	Antrian	
	(det/kend)	(meter)	
1	16	119,2	Tanpa smoth close up behavior
2	11,2	118,3	2 sama no 1__ tanpa smoth close up behavior_jarak pandang 0-250 n 0-100
3	7,9	105,1	3 sama no 1__perubahan jarak pandang look ahead mak 0-150 n 0-100
4	12,1	115,9	4 sama no 1__perubahan look ahead distance mak 0-250 n look back 0-50
5	11,2	118,3	5 sama no 1__perubahan look ahead distance mak 0-250 dan look back25-150
6	7,2	113,6	6 sama no 1__perubahan look ahead distance mak 100-250 dan look back25-150
7	15,7	119,2	7 sama no 1__perubahan look ahead distance mak 0-200 dan look back0-25
8	9,9	114,4	8 sama no 1__perubahan look ahead distance mak 0-150 dan look back0-25
9	10,8	95,3	9 sama no 1__perubahan look ahead distance mak 0-250 dan look back0-25
10	10,6	118	10 sama no 1__perubahan look ahead distance mak 0-200 dan look back0-20
11	7,3	112,1	11 sama no 1__perubahan look ahead distance mak 0-200 dan look back0-25__observe vehicle 8
12	8,9	97,9	12 sama no 1__perubahan look ahead distance mak 0-200 dan look back0-25__observe vehicle 6
13	8	110,8	13 sama no 12__perubahan safety distance reduction factor 1 standard value 0.6
14	10,6	115,9	14 sama no 12__perubahan safety distance reduction factor 0.9 standard value 0.6
15	11,2	115,6	15 sama no 12__perubahan safety distance reduction factor 0.8 standard value 0.6
16	9,6	118,4	16 sama no 12__perubahan safety distance reduction factor 0.7 standard value 0.6
17	14	115,8	17 sama no 12__perubahan safety distance reduction factor 0.5 standard value 0.6
18	11,8	108,8	18 sama no 12__perubahan safety distance reduction factor 0.4 standard value 0.6
19	11,5	107,1	19 sama no 12__perubahan safety distance reduction factor 0.3 standard value 0.6
20	9,4	118,6	20 sama no 12__perubahan safety distance reduction factor 0.2 standard value 0.6
21	10,3	106,9	21 sama no 12__perubahan safety distance reduction factor 0.1standard value 0.6
22	13	105,6	22 sama no 12__perubahan safety distance reduction factor 0 standard value 0.6
23	15,7	119,2	23 sama no 12__perubahan waiting time before diffusion 60
24	15,7	119,2	24 sama no 12__perubahan waiting time before diffusion 100
25	20,5	118,4	25 sama no 12__perubahan minimal headway 0 standard value 0.3
26	16,7	118,2	26 sama no 12__perubahan minimal headway 0.1 standard value 0.3
27	15,7	119,2	27 sama no 12__perubahan minimal headway 0.2 standard value 0.3
28	15,7	119,2	28 sama no 12__perubahan minimal headway 0.3standard value 0.3
29	15,7	119,2	29sama no 12__perubahan minimal headway 0.4 standard value 0.3
30	15,7	119,2	30 sama no 12__perubahan minimal headway 0.5 standard value 0.3
31	11,8	107,5	31sama no 25__tanpa advance merging
32	12,5	113,1	32sama no 25__following Wiedemann 74 : 0.2__0.2__0.25

No	Hasil Running		Perubahan Parameter
	Tundaan	Antrian	
	(det/kend)	(meter)	
33	10,1	65,7	33 sama no 25__following Wiedemann 74 : 0.5__0.2__0.25
34	10,8	100,5	34 sama no 25__following Wiedemann 74 : 1__0.2__0.25
35	10,3	94,9	35 sama no 25__following Wiedemann 74 : 1.06__0.2__0.25
36	13,4	91,5	36 sama no 25__following Wiedemann 74 : 0,35__0.2__0.25
37	8,6	101,3	37 sama no 25__following Wiedemann 74 : 1,35__0.2__0.25
38	20,5	118,4	38 sama no 25__following Wiedemann 74 : 1,06__0.2__0.25
39	12,3	88,6	39 sama no 25__following Wiedemann 74 : 0.4__0.2__0.25
40	15,1	91,1	40 sama no 25__following Wiedemann 74 : 0.36__0.2__0.25
41	11,8	85,1	41 sama no 25__following Wiedemann 74 : 0.37__0.2__0.25
42	11,5	116,2	42 sama no 25__following Wiedemann 74 : 1.05__0.2__0.25
43	7,8	116,7	43 sama no 25__following Wiedemann 74 : 1.04__0.2__0.25
44	11,5	101,2	44 sama no 25__following Wiedemann 74 : 1.15__0.2__0.25
45	11,7	112,3	45 sama no 25__following Wiedemann 74 : 1.20__0.2__0.25
46	10,3	115	46 sama no 25__following Wiedemann 74 : 1.07__0.2__0.25
47	9,4	116,5	47 sama no 25__following Wiedemann 74 : 1.08__0.2__0.25
48	10,9	118,3	48 sama no 25__following Wiedemann 74 : 1.06__0.2__0.28
49	10,3	103,9	49 sama no 25__following Wiedemann 74 : 1.06__0.2__0.3
50	12,1	115,7	50 sama no 25__following Wiedemann 74 : 1.06__0.2__0.35

Sumber : Hasil Analisa

Dari hasil kalibrasi diatas yang paling mendekati dengan hasil survai adalah no 25 yang kemudian dijadikan data untuk dilakukan uji square dengan hasil survai lapangan.

Hasil analisa uji *chi-square* terhadap panjang antrian dan tundaan kendaraan yang dilakukan pada persimpangan Pondok Pinang terdapat pada tabel 4.15 dan 4.16 sebagai berikut :

Tabel 4.14 Perhitungan Chi Square Untuk Validasi Model Antrian Hasil Vissim

Lokasi	Periode	Nilai χ^2 per Pendekat (Uji chi-square panjang antrian kendaraan model vissim)							
		Bintaro		Kebayoran Lama		Pondok Indah		Lebak Bulus	
		$(O_i - E_i)^2/E_i$	χ^2	$(O_i - E_i)^2/E_i$	χ^2	$(O_i - E_i)^2/E_i$	χ^2	$(O_i - E_i)^2/E_i$	χ^2
Pondok Pinang	07.00 - 07.05	1,11		134,70		249,17		3,80	
	07.05 - 07.10	0,64		70,98		5,89		4,72	
	07.10 - 07.15	16,51	25,83	136,20	483,34	152,19	942,15	4,92	21,94
	07.15 - 07.20	7,11		76,41		393,60		2,81	
	07.20 - 07.25	0,46		65,04		141,31		5,69	

Tabel 4.15 Perhitungan Chi Square Untuk Validasi Model Tundaan Hasil Vissim

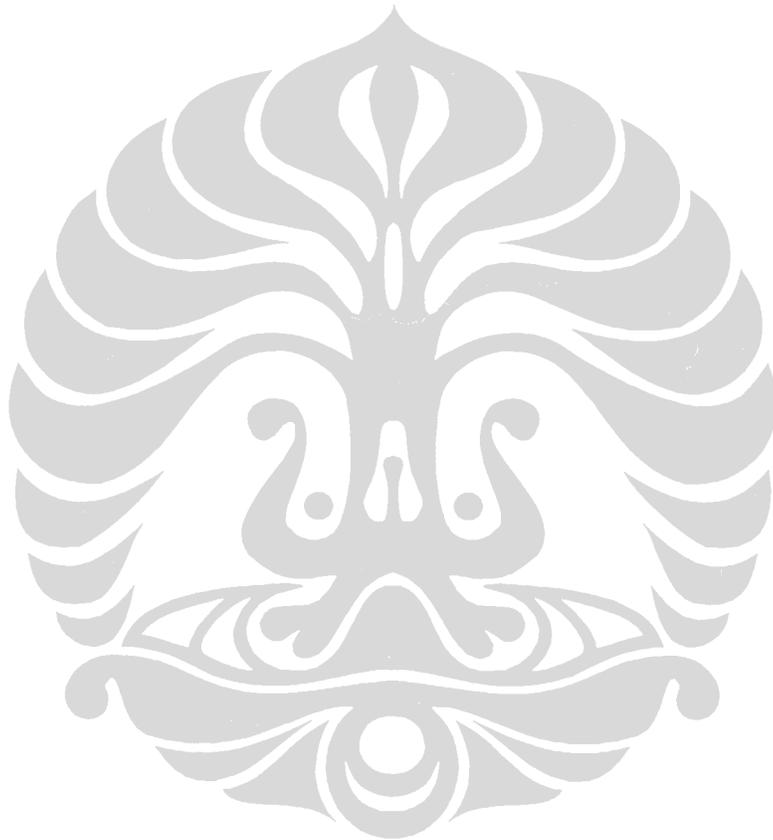
Lokasi	Periode	Nilai χ^2 per Pendekat (Uji chi-square tundaan kendaraan model vissim)							
		Bintaro		Kebayoran Lama		Pondok Indah		Lebak Bulus	
		$(O_i - E_i)^2/E_i$	χ^2	$(O_i - E_i)^2/E_i$	χ^2	$(O_i - E_i)^2/E_i$	χ^2	$(O_i - E_i)^2/E_i$	χ^2
Pondok Pinang	07.00 - 07.05	49,09		169,10		522,57		214,78	
	07.05 - 07.10	53,00		213,71		260,35		26,74	
	07.10 - 07.15	225,85	590,90	221,28	1131,60	333,54	1765,70	83,88	832,10
	07.15 - 07.20	222,39		248,16		435,49		343,69	
	07.20 - 07.25	40,55		279,33		213,74		163,05	

Berdasarkan analisis antrian tersebut, nilai χ^2 hasil hitung pendekat Bintaro adalah 25,8 dan χ^2 hasil hitung pendekat Kebayoran Lama adalah 483,3. Jumlah baris (k) = 5, sehingga $df = 5-1 = 4$.

χ^2 tabel untuk $\alpha = 0.05$, $k=5$ adalah 9.488, maka dapat ditarik kesimpulan bahwa nilai χ^2 hitung $>$ χ^2 tabel atau berarti bahwa H_0 ditolak sehingga hasil survai (O_i) \neq hasil model (E_i).

Sedangkan untuk hasil analisis tundaan kendaraan, nilai χ^2 hasil hitung pendekat Bintaro adalah 590,9 dan χ^2 hasil hitung pendekat Kebayoran Lama adalah 1131,60. Jumlah baris (k) = 5, sehingga $df = 5-1 = 4$.

χ^2 tabel untuk $\alpha = 0.05$, $k=5$ adalah 9.488, maka dapat ditarik kesimpulan bahwa nilai χ^2 hitung $>$ χ^2 tabel atau berarti bahwa H_0 ditolak sehingga hasil survai (O_i) \neq hasil model (E_i).



BAB V

ANALISA KINERJA PERSIMPANGAN

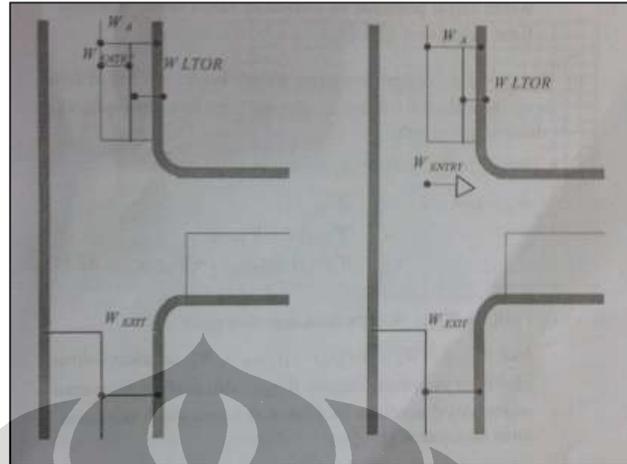
5.1. Analisa

Berdasarkan proses validasi pada bab sebelumnya yang membandingkan antara hasil observasi dengan hasil perhitungan model maka dalam proses analisa pada penelitian ini menggunakan model MKJI. Hal tersebut dikarenakan karena setelah dilakukan uji *chi-square* antara Model MKJI, Software Vissim dengan hasil observasi disimpulkan bahwa model MKJI valid dan dapat dipergunakan sebagai alat simulasi data. Sedangkan software vissim belum sesuai dengan hasil survai lapangan meskipun sudah dilakukan kalibrasi. Selanjutnya akan dijelaskan tentang analisa kinerja persimpangan untuk mendapatkan kondisi yang efektif diterapkan pelarangan belok kiri untuk berbagai kondisi geometrik jalan dan arus lalu lintas.

5.1.1 Variabel Yang Mempengaruhi Kinerja Persimpangan Terkait Pelarangan Belok Kiri

5.1.1.1 Lebar Pendekat (WA)

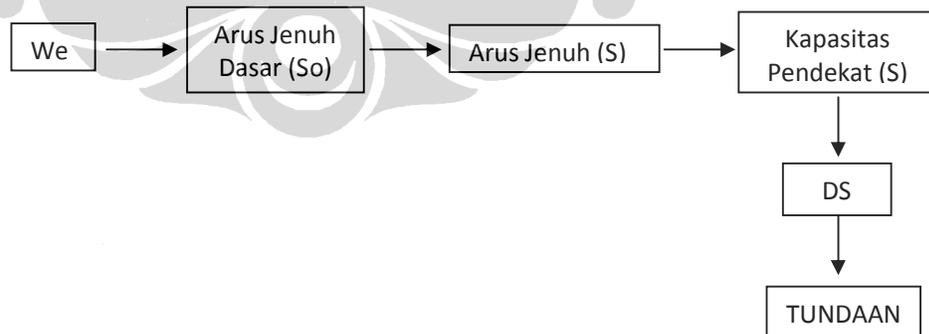
Penentuan lebar efektif (W_e) dipengaruhi oleh lebar pendekat (W_A) dengan memperhitungkan nilai lebar masuk (W_{masuk}), lebar keluar (W_{keluar}) dan W_{ltor} (W belok kiri langsung) seperti pada gambar 5.1 sebagai berikut:



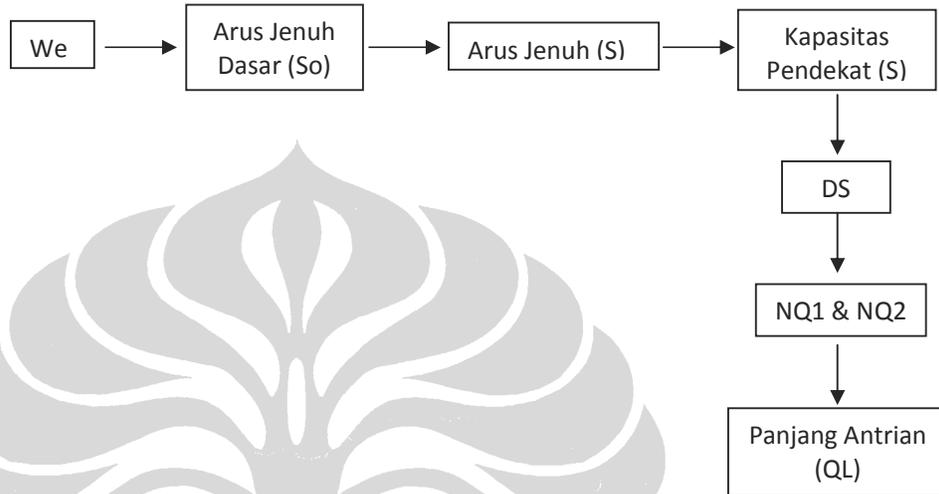
Gambar 5.1. Gambar Sketsa Penentuan Lebar Efektif (W_e)

Dalam model MKJI, Lebar Efektif (W_e) berpengaruh terhadap hasil analisa arus jenuh dasar dan masuk dalam model perhitungan yang secara tidak langsung mempengaruhi nilai panjang antrian dan tundaan kendaraan. Tahap analisis pengaruh nilai lebar efektif (W_e) terhadap perhitungan kinerja persimpangan seperti pada sketsa (a) dan (b) sebagai berikut :

(a) Pengaruh nilai lebar efektif terhadap tundaan kendaraan



(b) Pengaruh nilai lebar efektif terhadap panjang antrian kendaraan



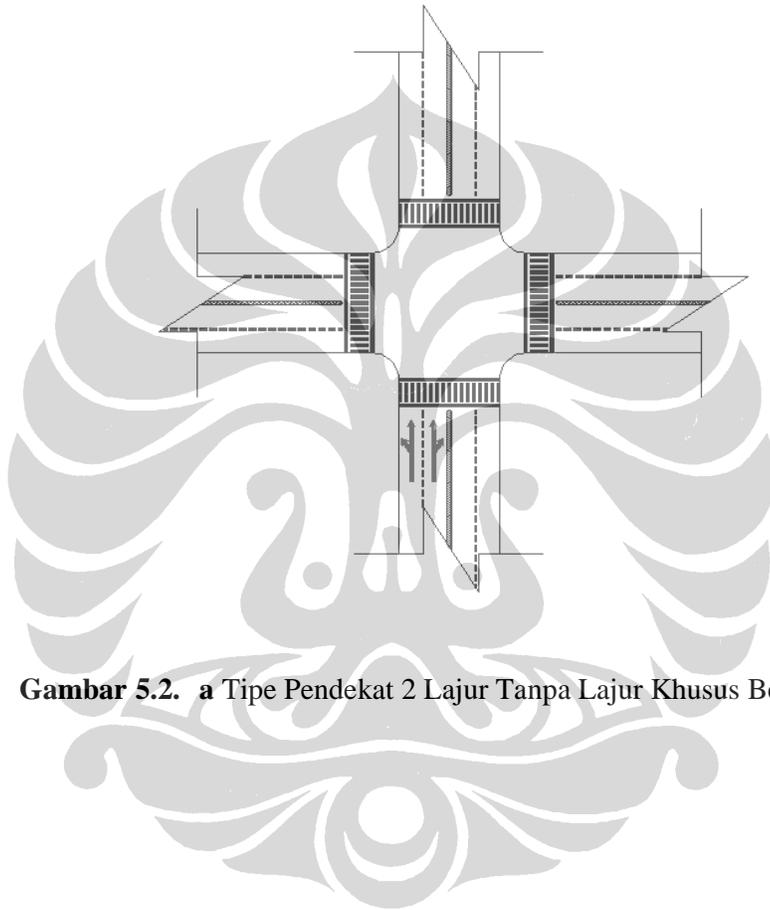
Untuk lebar lajur LTOR (W_{ltor}) hanya perlu jika belok kiri langsung diperbolehkan. Jika belok kiri langsung dilarang maka lebar lajur LTOR tidak digunakan dalam perhitungan. Sedangkan untuk pengaturan arus lalu lintas belok kiri menggunakan lajur khusus belok kiri (lajur belok kiri terpisah dengan lajur lurus dan belok kanan).

5.1.1.1 Jumlah Lajur

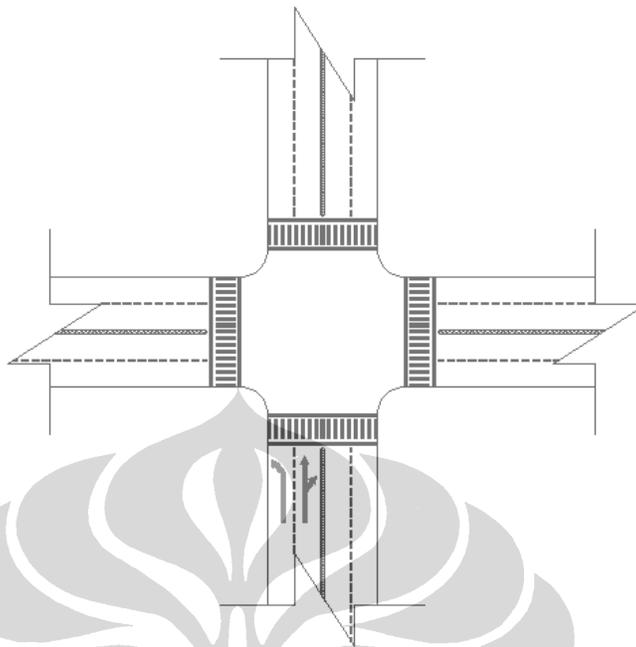
Lajur adalah bagian pada jalur lalu lintas yang dilalui oleh kendaraan bermotor beroda 4 atau lebih dalam satu arah. Jumlah lajur dalam sistem manajemen persimpangan dan pengaturan arus lalu lintas berpengaruh terhadap kinerja persimpangan tersebut. Lebar lajur 3,5 meter ditetapkan agar memungkinkan melewati arus campuran kendaraan roda 4 dan 2. Pola pergerakan lalu lintas ditentukan oleh banyaknya lajur pada pendekat simpang.

Universitas Indonesia

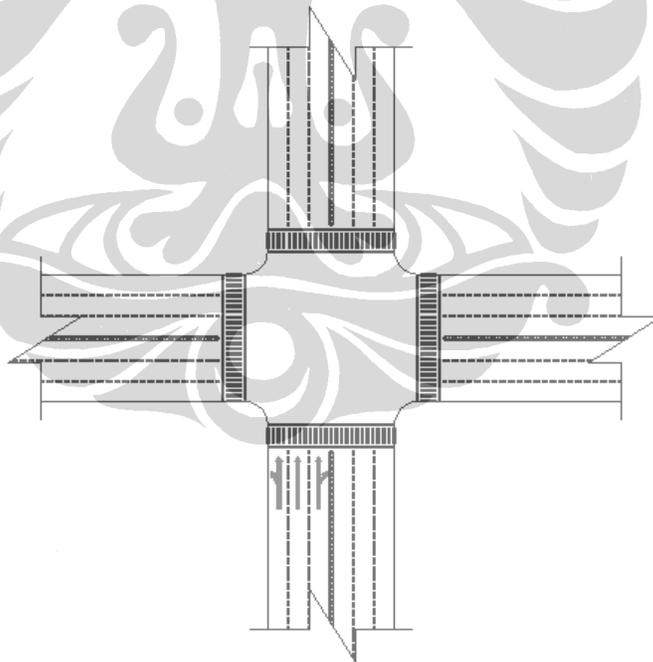
Semakin banyak jumlah lajur dimungkinkan mempermudah pembagian arus lalu lintas, baik arus belok kiri maupun arus lurus dan belok kanan. Jumlah lajur juga mempengaruhi besar kapasitas simpang dan nilai tundaan dan antrian lalu lintas. Ilustrasi perbandingan jumlah lajur dengan pembagian arus lalu lintas dapat dilihat pada gambar 5.2. a, 5.2.b, 5.2.c, dan 5.2.d sebagai berikut:



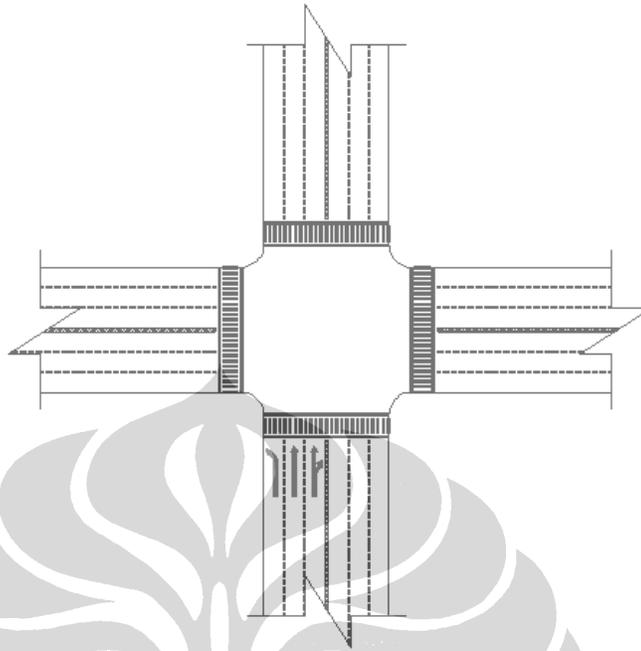
Gambar 5.2. a Tipe Pendekat 2 Lajur Tanpa Lajur Khusus Belok Kiri



Gambar 5.2. b Tipe Pendekat 2 Lajur Dengan Lajur Khusus Belok Kiri



Gambar 5.2. c Tipe Pendekat 3 Lajur Tanpa Lajur Khusus Belok Kiri



Gambar 5.2. d Tipe Pendekat 3 Lajur Dengan Lajur Khusus Belok Kiri

Batasan yang diambil dalam melakukan analisa kinerja persimpangan pada penelitian ini dibatasi pada simpang dengan tipe pendekat yang menggunakan karakteristik kondisi arus kendaraan LTOR dapat mendahului antrian kendaraan lurus dan belok kanan dalam pendekat selama sinyal merah atau tipe pendekat 2 lajur dengan lajur khusus belok kiri.

5.1.1.2 Tundaan Pejalan Kaki Untuk Menyeberang

Tundaan telah diterima secara luas sebagai indeks kinerja utama untuk persimpangan bersinyal, sehingga perlu untuk memperkirakan tundaan untuk semua komponen dari sistem lalu lintas yang terkait di persimpangan bersinyal. Salah satu dari komponen lalu lintas adalah pejalan kaki dan hal ini tidak dapat terpisahkan dari sistim transportasi jalan.

Manual Kapasitas Jalan Indonesia (MKJI) telah menyediakan analisis sederhana waktu tundaan pejalan kaki, namun masih diperlukan model lain untuk menghitung waktu tundaan pejalan kaki saat menyeberang. Hal ini disebabkan pada persimpangan bersinyal waktu tundaan kendaraan umumnya dianggap lebih penting daripada waktu tundaan pejalan kaki. Alasan lain adalah kesulitan memperkirakan tundaan pejalan kaki yang akurat karena fleksibilitas dan keragaman pejalan kaki. Model yang digunakan untuk perhitungan waktu tundaan pejalan kaki adalah model Virkler 1998 (Qingfeng Li dkk, 2004). Pada persimpangan bersinyal dengan belok kiri boleh langsung, waktu pejalan kaki menyeberang tergantung dari waktu pengosongan atau waktu merah semua ditambah waktu kuning.

Analisis masalah pejalan kaki ini dimaksudkan untuk dapat mengetahui tundaan pejalan kaki pada kaki pendekat simpang bersinyal kaitannya dengan pengaruh pengaturan belok kiri dalam sistem manajemen pengaturan suatu simpang bersinyal.

5.1.1.3 Arus Belok Kiri

Data masukan kondisi lalu lintas terdiri dari tiga bagian antara lain menggambarkan situasi lalu lintas, sketsa arus lalu lintas dan variabel – variabel masukan lalu lintas. Sketsa situasi lalu lintas menerangkan gerakan arus lalu lintas (kend/jam) pada tiap kaki pendekat yang dibagi dalam arah gerakan belok kanan, belok kiri dan lurus, dimana persentase belok kiri dan persentase belok kanan berpengaruh terhadap perhitungan arus jenuh. Dalam penelitian ini, disimulasikan antara pengaruh besar persentase belok kiri terhadap kinerja persimpangan sehingga didapat kondisi kapan diperbolehkan belok kiri langsung, diperbolehkan belok kiri langsung dengan tindakan manajemen simpang dan kondisi dilarang belok kiri.

5.1. Simulasi Kondisi LTOR dan NLTOR

Setelah prosedur perhitungan dan analisis kinerja simpang maupun validasi terhadap tundaan eksisting dan hasil model, langkah selanjutnya adalah melakukan simulasi perbandingan kinerja antara belok kiri langsung (LTOR/*Left Turn On Red*) dan kinerja belok kiri tidak langsung (N-LTOR/*No Left Turn On Red*).

Simulasi dilakukan pada beberapa kondisi volume arus lalu lintas pada masing – masing pendekat simpang dengan rentang 500 smp/jam sampai 1000 smp/jam, dan variasi kondisi jumlah persentase kendaraan belok kiri (% LT/*Percentage of Left Turn*) dari jumlah volume keseluruhan yang masuk ke pendekat tersebut (dalam satuan smp).

Simulasi dilakukan berdasarkan pada variabel jumlah persentase kendaraan belok kiri pada pendekat, dan menggunakan rentang (*range*) 5% dimulai dari 0% sampai dengan 100%. Nilai tersebut digunakan dalam analisis dengan menggunakan model MKJI dengan hasil *output* adalah tundaan kendaraan (detik/smp), panjang antrian kendaraan (meter) dan tundaan pejalan kaki saat menyeberang (detik). Variabel % LT (persentase belok kiri) ini dalam simulasi grafik digunakan sebagai *axis* (x), sedangkan sebagai *ordinate* (y) adalah tundaan kendaraan (detik/smp), panjang antrian kendaraan (meter) dan tundaan pejalan kaki saat menyeberang (detik) yang dihasilkan dari model MKJI pada kondisi tersebut.

Tujuan dari simulasi data ini adalah untuk menentukan perbandingan kinerja dan grafik simulasi kinerja pada kondisi LTOR dan N-LTOR. Dalam analisis LTOR dan NLTOR, hal yang membedakan adalah dalam menentukan nilai lebar efektif (W_e). Jika nilai W_e pada kondisi LTOR adalah lebar pendekat dikurangi WLTOR atau sama dengan lebar masuk pendekat, sedangkan nilai W_e pada kondisi NLTOR adalah sama dengan W keluar. Simulasi dilakukan dengan

skenario lebar pendekat yang tetap yaitu 5,5 meter dengan rentang volume lalu lintas 500 smp/jam sampai 1000 smp/jam, yaitu:

5.2.1 Simulasi I (Lebar Pendekat = 5,5 meter, volume lalu lintas 500 smp/jam)

Pada tabel 5.1 disajikan hasil perhitungan simulasi dengan menggunakan model MKJI dan grafik perbandingan LTOR dan N-LTOR sebagai berikut:

Tabel 5.1 Rekapitulasi Simulasi LTOR dan NLTOR Simulasi I
(lebar pendekat 5,5 meter; volume 500 smp/jam)

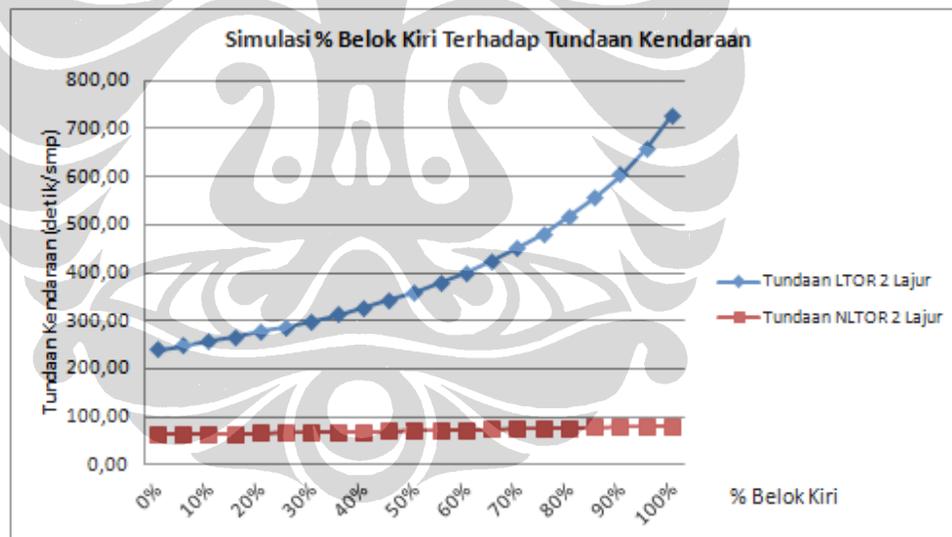
REKAPITULASI
SIMULASI % BELOK KIRI LTOR (Lebar Pendekat = 5,5 meter)

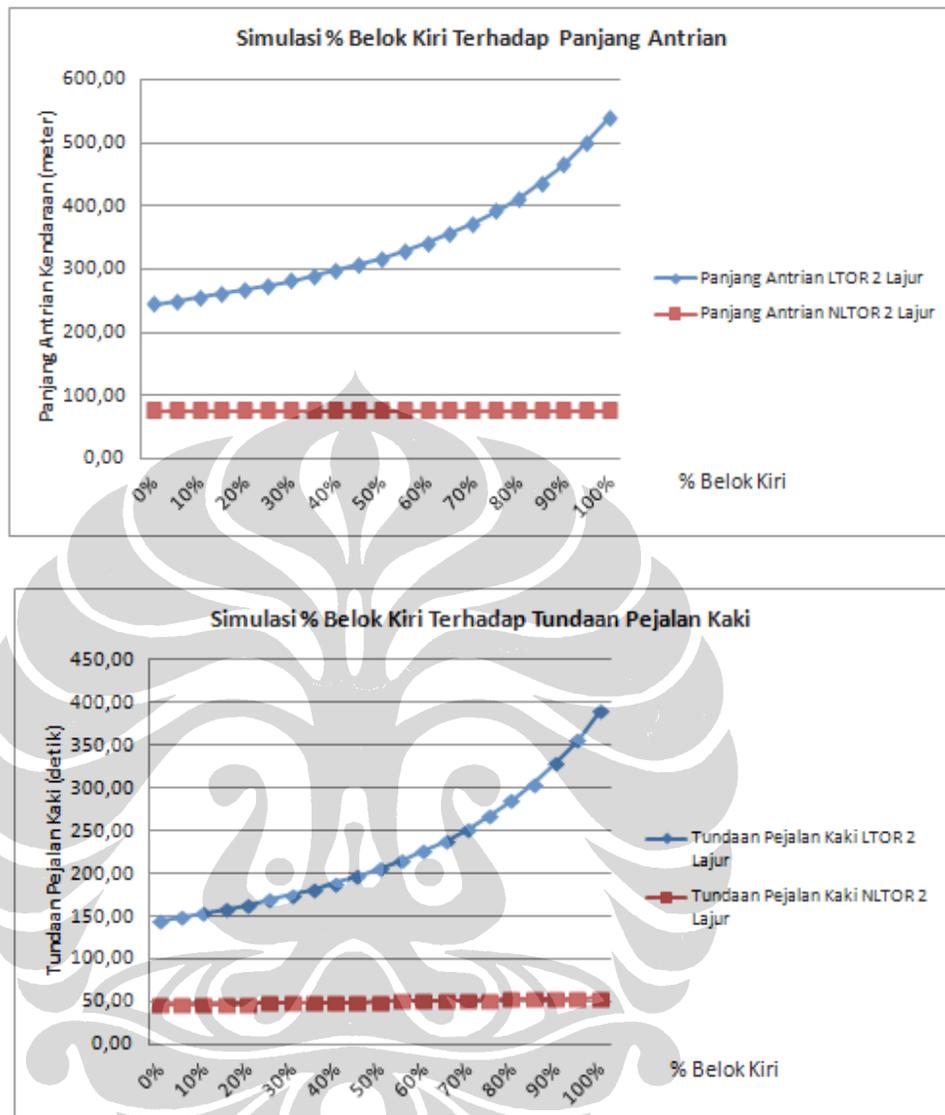
% Belok Kiri	VOLUME (smp/jam)	W_e (meter)	SIKLUS (detik)	KAPASITAS (smp/jam)	DS	TUNDAAN PEJALAN KAKI (detik)	TUNDAAN KENDARAAN (detik/smp)	PANJANG ANTRIAN (meter)
0%	500	2,75	412,14	201,64	2,48	144,77	239,90	244,34
5%			424,12	200,31	2,50	148,98	248,17	249,26
10%			436,95	198,98	2,51	153,50	257,03	254,55
15%			450,74	197,66	2,53	158,35	266,56	260,24
20%			465,60	196,33	2,55	163,57	276,82	266,39
25%			481,65	195,00	2,56	169,22	287,92	273,05
30%			499,05	193,66	2,58	175,34	299,94	280,29
35%			517,97	192,33	2,60	181,99	313,03	288,18
40%			538,62	190,99	2,62	189,25	327,32	296,81
45%			561,24	189,65	2,64	197,21	342,98	306,29
50%			586,15	188,31	2,66	205,97	360,23	316,75
55%			613,70	186,97	2,67	215,66	379,33	328,33
60%			644,33	185,63	2,69	226,43	400,58	341,24
65%			678,59	184,28	2,71	238,49	424,37	355,70
70%			717,18	182,94	2,73	252,06	451,17	372,00
75%			760,95	181,59	2,75	267,45	481,62	390,54
80%			811,05	180,24	2,77	285,07	516,48	411,77
85%			868,92	178,88	2,80	305,43	556,80	436,34
90%			936,56	177,53	2,82	329,22	603,96	465,09
95%			1016,65	176,17	2,84	357,38	659,86	499,17
100%	1112,98	174,81	2,86	391,26	726,31	540,20		

REKAPITULASI

SIMULASI % BELOK KIRI NLTOR (Lebar Pendekat = 5,5 meter)

% Belok Kiri	VOLUME (smp/ja)	We (meter)	SIKLUS (detik)	KAPASITAS (smp/jam)	DS	TUNDAAN PEJALAN KAKI (detik)	TUNDAAN KENDARAAN (detik/smp)	PANJANG ANTRIAN (meter)
0%	500	5,50	133,15	360,18	1,39	46,64	62,73	75,53
5%			134,03	357,71	1,40	46,95	63,47	75,51
10%			134,92	355,24	1,41	47,27	64,24	75,49
15%			135,84	352,76	1,42	47,59	65,01	75,48
20%			136,78	350,29	1,43	47,92	65,80	75,47
25%			137,75	347,81	1,44	48,26	66,61	75,47
30%			138,75	345,34	1,45	48,61	67,43	75,47
35%			139,78	342,86	1,46	48,97	68,27	75,48
40%			140,83	340,38	1,47	49,35	69,13	75,50
45%			141,92	337,90	1,48	49,73	69,75	75,52
50%			143,04	335,41	1,49	50,12	70,90	75,55
55%			144,19	332,93	1,50	50,53	71,82	75,59
60%			145,38	330,44	1,51	50,94	72,76	75,63
65%			146,60	327,95	1,52	51,37	73,72	75,69
70%			147,86	325,46	1,54	51,82	74,70	75,75
75%			149,17	322,97	1,55	52,28	75,71	75,82
80%			150,51	320,48	1,56	52,75	76,74	75,90
85%			151,90	317,98	1,57	53,24	77,81	75,99
90%			153,34	315,49	1,58	53,74	78,90	76,08
95%			154,83	312,99	1,60	54,27	80,02	76,19
100%	156,37	310,49	1,61	54,81	80,32	76,31		





Gambar 5.3. Grafik Perbandingan Kinerja LTOR dan NLTOR Simulasi I (lebar pendekat 5,5 meter; volume 500 smp/jam)

Berdasarkan simulasi tersebut, diperoleh kinerja tundaan kendaraan, panjang antrian kendaraan dan tundaan pejalan kaki pada volume 500 smp/jam kondisi NLTOR lebih baik jika dibandingkan dengan kondisi LTOR.

5.2.2 Simulasi II (Lebar Pendekat = 5,5 meter, volume lalu lintas 700 smp/jam)

Pada tabel 5.2 disajikan hasil perhitungan simulasi dengan menggunakan model MKJI dan grafik perbandingan LTOR dan N-LTOR pada gambar 5.4 sebagai berikut:

Tabel 5.2 Rekapitulasi Simulasi LTOR Dan NLTOR Simulasi II
(lebar pendekat 5,5 meter; volume 700 smp/jam)

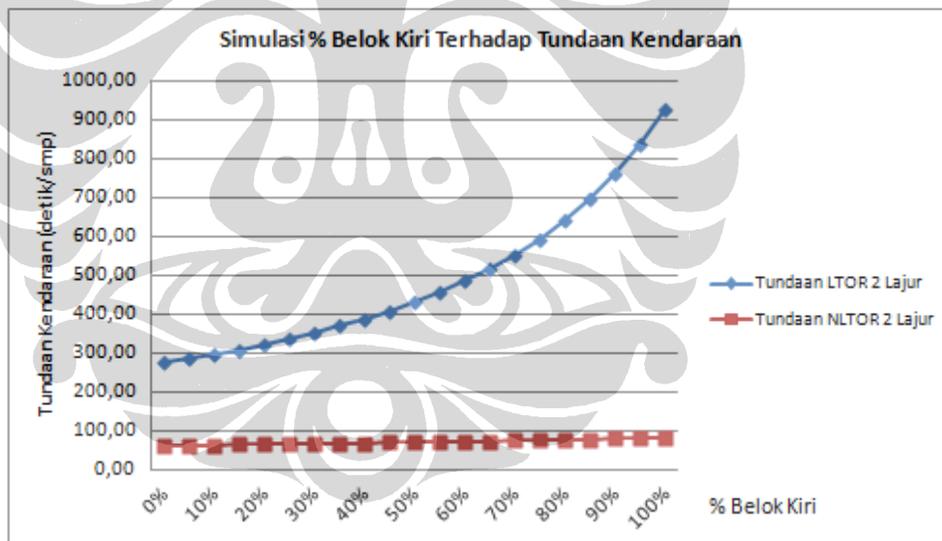
REKAPITULASI
SIMULASI % BELOK KIRI LTOR (Lebar Pendekat = 5,5 meter)

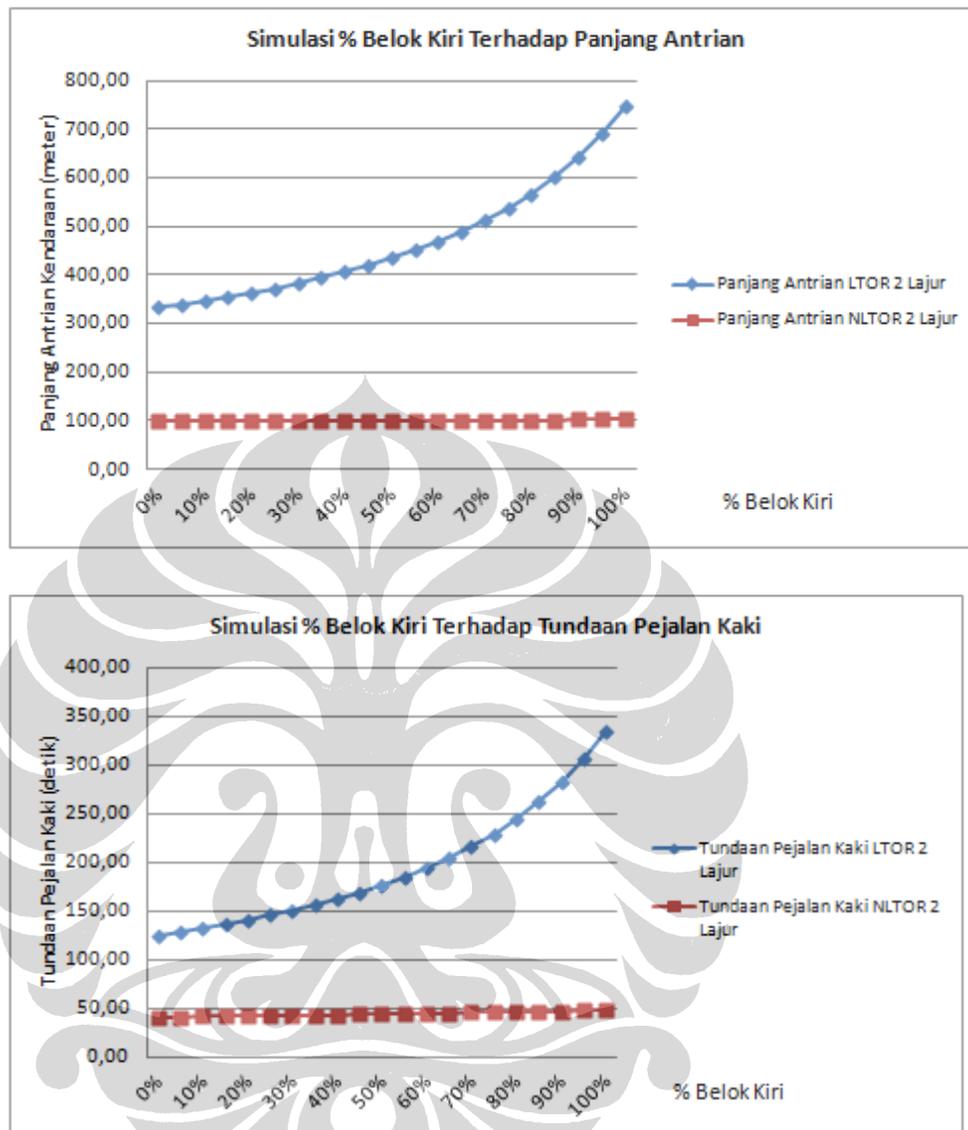
% Belok Kiri	VOLUME (smp/jam)	We (meter)	SIKLUS (detik)	KAPASITAS (smp/jam)	DS	TUNDAAN PEJALAN KAKI (detik)	TUNDAAN KENDARAAN (detik/smp)	PANJANG ANTRIAN (meter)
0%	700	2,75	412,14	282,29	2,48	124,34	273,58	332,58
5%			424,12	280,44	2,50	127,93	284,09	339,46
10%			436,95	278,58	2,51	131,78	295,39	346,86
15%			450,74	276,72	2,53	135,91	307,59	354,83
20%			465,60	274,86	2,55	140,36	320,78	363,44
25%			481,65	272,99	2,56	145,17	335,10	372,77
30%			499,05	271,13	2,58	150,39	350,69	382,91
35%			517,97	269,26	2,60	156,05	367,72	393,95
40%			538,62	267,39	2,62	162,24	386,39	406,04
45%			561,24	265,52	2,64	169,02	406,96	419,31
50%			586,15	263,64	2,66	176,49	429,70	433,94
55%			613,70	261,76	2,67	184,74	454,99	450,16
60%			644,33	259,88	2,69	193,92	483,25	468,23
65%			678,59	258,00	2,71	204,19	515,02	488,47
70%			717,18	256,11	2,73	215,76	550,99	511,30
75%			760,95	254,22	2,75	228,88	592,01	537,25
80%			811,05	252,33	2,77	243,89	639,21	566,98
85%			868,92	250,44	2,80	261,23	694,04	601,38
90%			936,56	248,54	2,82	281,50	758,45	641,62
95%			1016,65	246,64	2,84	305,50	835,13	689,33
100%	1112,98	244,74	2,86	334,37	927,06	746,77		

REKAPITULASI

SIMULASI % BELOK KIRI NLTOR (Lebar Pendekat = 5,5 meter)

% Belok Kiri	VOLUME (smp/jam)	We (meter)	SIKLUS (detik)	KAPASITAS (smp/jam)	Ds	TUNDAAN PEJALAN KAKI (detik)	TUNDAAN KENDARAAN (detik/smp)	PANJANG ANTRIAN (meter)
0%	700	5,50	133,15	504,25	1,39	40,73	60,96	100,99
5%			134,03	500,79	1,40	41,00	61,72	100,96
10%			134,92	497,33	1,41	41,26	62,50	100,93
15%			135,84	493,87	1,42	41,54	63,29	100,92
20%			136,78	490,40	1,43	41,82	64,10	100,91
25%			137,75	486,94	1,44	42,11	64,93	100,90
30%			138,75	483,47	1,45	42,41	65,78	100,91
35%			139,78	480,00	1,46	42,72	66,65	100,92
40%			140,83	476,53	1,47	43,04	67,54	100,95
45%			141,92	473,05	1,48	43,36	68,21	100,98
50%			143,04	469,58	1,49	43,70	69,37	101,02
55%			144,19	466,10	1,50	44,04	70,33	101,07
60%			145,38	462,62	1,51	44,40	71,31	101,14
65%			146,60	459,13	1,52	44,76	72,31	101,21
70%			147,86	455,65	1,54	45,14	73,34	101,30
75%			149,17	452,16	1,55	45,53	74,40	101,39
80%			150,51	448,67	1,56	45,94	75,49	101,50
85%			151,90	445,18	1,57	46,35	76,61	101,63
90%			153,34	441,68	1,58	46,78	77,76	101,77
95%			154,83	438,18	1,60	47,23	78,95	101,92
100%	156,37	434,68	1,61	47,69	79,39	102,09		





Gambar 5.4. Grafik Perbandingan Kinerja LTOR dan NLTOR Simulasi II (lebar pendekat 5,5 meter; volume 700 smp/jam)

Berdasarkan simulasi tersebut, diperoleh kinerja tundaan kendaraan, panjang antrian kendaraan dan tundaan pejalan kaki pada volume 700 smp/jam kondisi NLTOR lebih baik jika dibandingkan dengan kondisi LTOR.

5.2.3 Simulasi III (Lebar Pendekat = 5,5 meter, volume lalu lintas 900 smp/jam)

Pada tabel 5.3 disajikan hasil perhitungan simulasi dengan menggunakan model MKJI dan grafik perbandingan LTOR dan N-LTOR pada gambar 5.5 sebagai berikut:

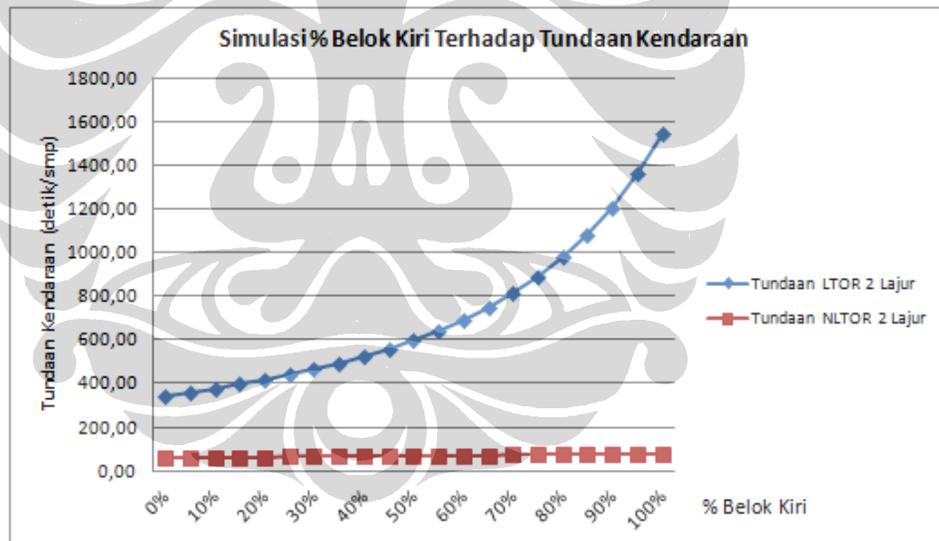
Tabel 5.3 Rekapitulasi Simulasi LTOR Dan NLTOR Simulasi III
(lebar pendekat 5,5 meter; volume 900 smp/jam)

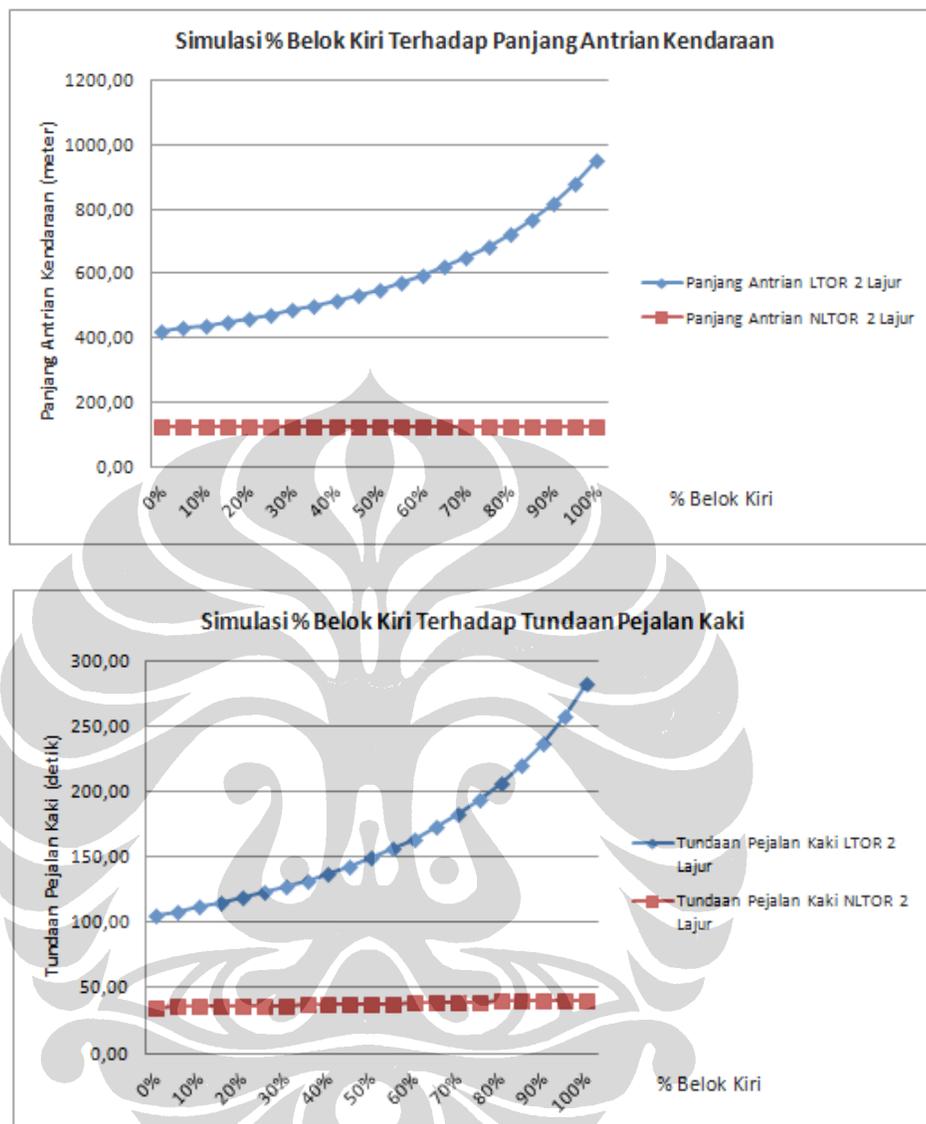
REKAPITULASI
SIMULASI % BELOK KIRI LTOR (Lebar Pendekat = 5,5 meter)

% Belok Kiri	VOLUME (smp/jam)	We (meter)	SIKLUS (detik)	KAPASITAS (smp/jam)	DS	TUNDAAN PEJALAN KAKI (detik)	TUNDAAN KENDARAAN (detik/smp)	PANJANG ANTRIAN (meter)
0%	900	2,75	412,14	362,95	2,48	105,47	344,56	420,81
5%			424,12	360,56	2,50	108,48	360,63	429,66
10%			436,95	358,17	2,51	111,71	378,09	439,18
15%			450,74	355,78	2,53	115,19	397,14	449,43
20%			465,60	353,39	2,55	118,93	417,97	460,50
25%			481,65	350,99	2,56	122,97	440,84	472,49
30%			499,05	348,59	2,58	127,35	466,03	485,52
35%			517,97	346,19	2,60	132,11	493,88	499,72
40%			538,62	343,79	2,62	137,31	524,82	515,26
45%			561,24	341,38	2,64	143,01	559,35	532,32
50%			586,15	338,97	2,66	149,28	598,07	551,14
55%			613,70	336,55	2,67	156,22	641,73	571,99
60%			644,33	334,13	2,69	163,93	691,26	595,22
65%			678,59	331,71	2,71	172,56	747,84	621,25
70%			717,18	329,29	2,73	182,28	812,93	650,60
75%			760,95	326,86	2,75	193,30	888,45	683,96
80%			811,05	324,43	2,77	205,91	976,89	722,18
85%			868,92	321,99	2,80	220,49	1081,54	766,41
90%			936,56	319,55	2,82	237,52	1206,90	818,15
95%			1016,65	317,11	2,84	257,69	1359,19	879,49
100%	1112,98	314,67	2,86	281,95	1546,52	953,35		

REKAPITULASI
SIMULASI % BELOK KIRI NLTOR (Lebar Pendekat = 5,5 meter)

% Belok Kiri	VOLUME (smp/ja)	We (meter)	SIKLUS (detik)	KAPASITAS (smp/jam)	DS	TUNDAAN PEJALAN KAKI (detik)	TUNDAAN KENDARAAN (detik/smp)	PANJANG ANTRIAN (meter)
0%	900	5,50	133,15	648,32	1,39	35,22	59,34	126,45
5%			134,03	643,88	1,40	35,44	60,13	126,41
10%			134,92	639,43	1,41	35,67	60,94	126,38
15%			135,84	634,97	1,42	35,90	61,76	126,35
20%			136,78	630,52	1,43	36,14	62,61	126,34
25%			137,75	626,06	1,44	36,38	63,48	126,34
30%			138,75	621,60	1,45	36,63	64,36	126,35
35%			139,78	617,14	1,46	36,89	65,27	126,37
40%			140,83	612,68	1,47	37,16	66,21	126,39
45%			141,92	608,21	1,48	37,43	66,95	126,44
50%			143,04	603,74	1,49	37,71	68,15	126,49
55%			144,19	599,27	1,50	38,00	69,16	126,56
60%			145,38	594,79	1,51	38,30	70,20	126,64
65%			146,60	590,32	1,52	38,61	71,27	126,73
70%			147,86	585,83	1,54	38,93	72,37	126,84
75%			149,17	581,35	1,55	39,25	73,51	126,97
80%			150,51	576,86	1,56	39,59	74,68	127,11
85%			151,90	572,37	1,57	39,94	75,89	127,27
90%			153,34	567,88	1,58	40,30	77,14	127,45
95%			154,83	563,38	1,60	40,68	78,43	127,64
100%	154,83	563,38	1,60	40,68	78,43	127,64		





Gambar 5.5. Grafik Perbandingan Kinerja LTOR dan NLTOR Simulasi III (lebar pendekat 5,5 meter; volume 900 smp/jam)

Berdasarkan simulasi tersebut, diperoleh kinerja tundaan kendaraan, panjang antrian kendaraan dan tundaan pejalan kaki pada volume 900 smp/jam kondisi NLTOR lebih baik jika dibandingkan dengan kondisi LTOR.

5.2.4 Simulasi IV (Lebar Pendekat = 5,5 meter, volume lalu lintas 1000 smp/jam)

Pada tabel 5.4 disajikan hasil perhitungan simulasi dengan menggunakan model MKJI dan grafik perbandingan LTOR dan N-LTOR pada gambar 5.6 sebagai berikut:

Tabel 5.4 Rekapitulasi Simulasi LTOR Dan NLTOR Simulasi IV
(lebar pendekat 5,5 meter; volume 1000 smp/jam)

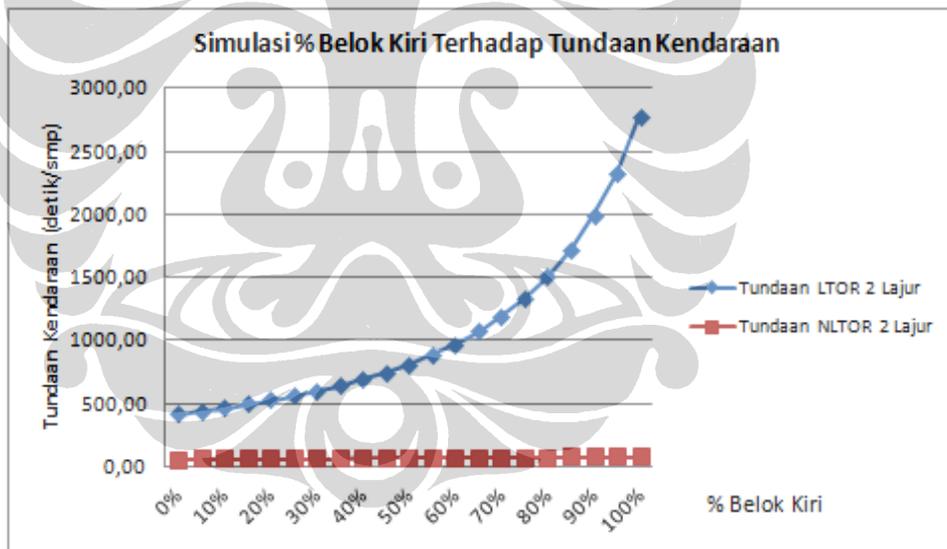
REKAPITULASI
SIMULASI % BELOK KIRI LTOR (Lebar Pendekat = 5,5 meter)

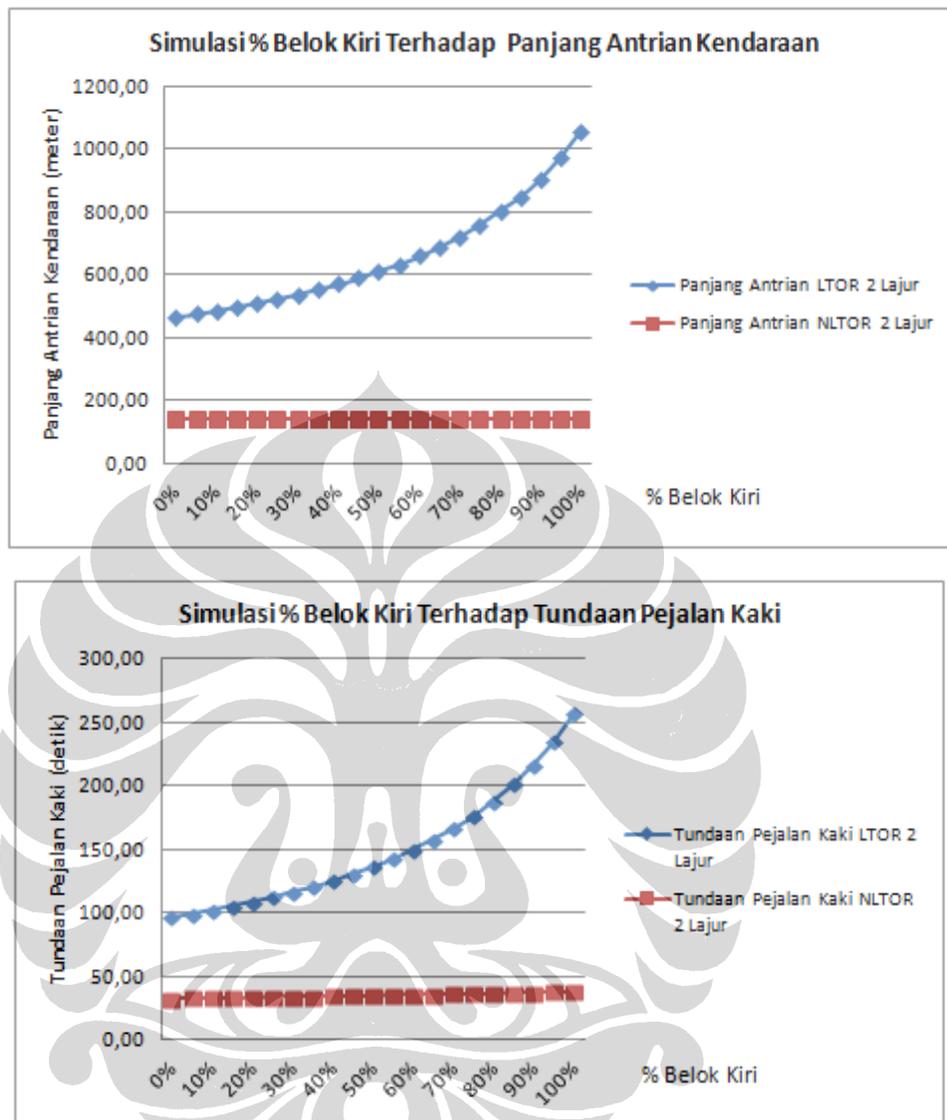
% Belok Kiri	VOLUME (smp/jam)	We (meter)	SIKLUS (detik)	KAPASITAS (smp/jam)	DS	TUNDAAN PEJALAN KAKI (detik)	TUNDAAN KENDARAAN (detik/smp)	PANJANG ANTRIAN (meter)
0%	1000	2,75	412,14	403,27	2,48	96,61	416,31	464,93
5%			424,12	400,62	2,50	99,36	439,23	474,76
10%			436,95	397,97	2,51	102,30	464,46	485,33
15%			450,74	395,31	2,53	105,47	492,33	496,72
20%			465,60	392,65	2,55	108,87	523,24	509,02
25%			481,65	389,99	2,56	112,56	557,67	522,35
30%			499,05	387,33	2,58	116,55	596,20	536,83
35%			517,97	384,66	2,60	120,89	639,53	552,61
40%			538,62	381,98	2,62	125,63	688,54	569,87
45%			561,24	379,31	2,64	130,82	744,30	588,83
50%			586,15	376,63	2,66	136,53	808,15	609,73
55%			613,70	373,95	2,67	142,85	881,80	632,90
60%			644,33	371,26	2,69	149,88	967,45	658,71
65%			678,59	368,57	2,71	157,74	1067,94	687,63
70%			717,18	365,87	2,73	166,60	1187,01	720,25
75%			760,95	363,18	2,75	176,64	1329,70	757,32
80%			811,05	360,48	2,77	188,13	1502,89	799,79
85%			868,92	357,77	2,80	201,41	1716,19	848,93
90%			936,56	355,06	2,82	216,93	1983,37	906,42
95%			1016,65	352,35	2,84	235,31	2324,72	974,58
100%	1112,98	349,63	2,86	257,41	2770,48	1056,64		

REKAPITULASI

SIMULASI % BELOK KIRI NLTOR (Lebar Pendekat = 5,5 meter)

% Belok Kiri	VOLUME (smp/ja)	We (meter)	SIKLUS (detik)	KAPASITAS (smp/jam)	DS	TUNDAAN PEJALAN KAKI (detik)	TUNDAAN KENDARAAN (detik/smp)	PANJANG ANTRIAN (meter)
0%	1000	5,50	133,15	720,36	1,39	32,62	58,61	139,18
5%			134,03	715,42	1,40	32,82	59,42	139,13
10%			134,92	710,47	1,41	33,02	60,25	139,10
15%			135,84	705,53	1,42	33,23	61,09	139,07
20%			136,78	700,58	1,43	33,45	61,96	139,06
25%			137,75	695,63	1,44	33,67	62,85	139,06
30%			138,75	690,67	1,45	33,90	63,77	139,07
35%			139,78	685,71	1,46	34,14	64,71	139,09
40%			140,83	680,75	1,47	34,38	65,67	139,12
45%			141,92	675,79	1,48	34,63	66,46	139,17
50%			143,04	670,82	1,49	34,88	67,69	139,23
55%			144,19	665,85	1,50	35,15	68,74	139,30
60%			145,38	660,88	1,51	35,42	69,82	139,39
65%			146,60	655,91	1,52	35,70	70,94	139,50
70%			147,86	650,93	1,54	35,99	72,09	139,62
75%			149,17	645,94	1,55	36,29	73,28	139,76
80%			150,51	640,96	1,56	36,60	74,51	139,92
85%			151,90	635,97	1,57	36,92	75,78	140,09
90%			153,34	630,97	1,58	37,25	77,10	140,29
95%			154,83	625,98	1,60	37,59	78,46	140,51
100%	156,37	620,98	1,61	37,94	79,18	140,75		



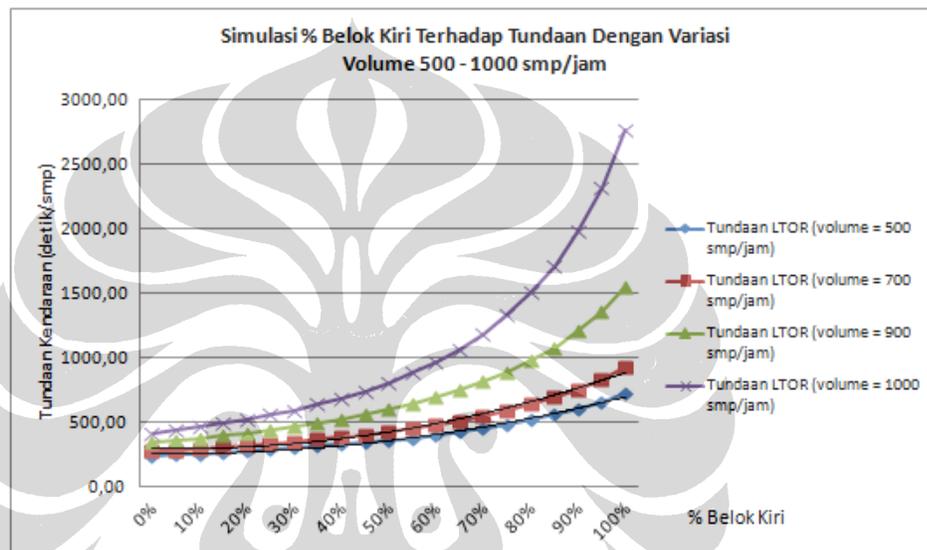


Gambar 5.6. Grafik Perbandingan Kinerja LTOR dan NLTOR Simulasi IV (lebar pendekat 5,5 meter; volume 1000 smp/jam)

Berdasarkan simulasi tersebut, diperoleh kinerja tundaan kendaraan, panjang antrian kendaraan dan tundaan pejalan kaki pada volume 1000 smp/jam kondisi NLTOR lebih baik jika dibandingkan dengan kondisi LTOR.

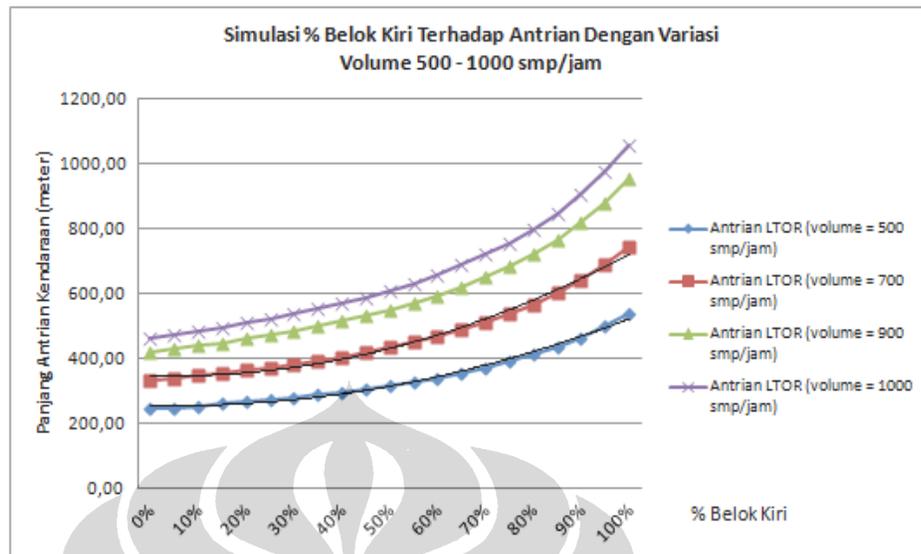
Setelah dilakukan simulasi pada beberapa kondisi volume lalu lintas diatas disimpulkan bahwa dalam kondisi volume 500 – 1000 smp/jam dan lebar pendekat 5,5 meter, kinerja persimpangan (tundaan kendaraan, panjang antrian dan tundaan pejalan kaki) pada kondisi NLTOR lebih baik dari pada kondisi LTOR.

Berikut adalah grafik perbandingan hasil analisa kinerja kondisi LTOR pada berbagai variasi volume:



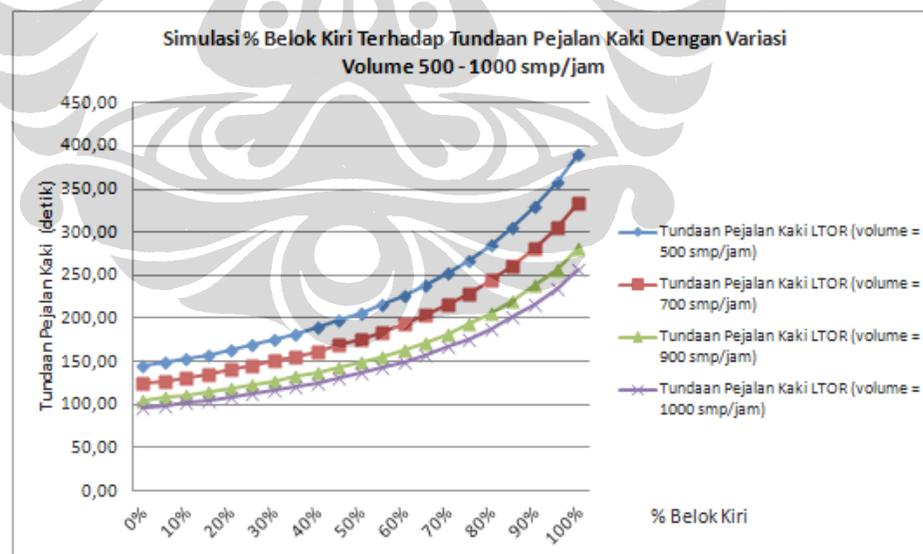
Gambar 5.7. Grafik Perbandingan Tundaan Kendaraan Kondisi LTOR pada variasi volume

Berdasarkan gambar grafik diatas, disimpulkan bahwa semakin besar volume pada pendekat dan persentase volume belok kiri maka kecepatan kenaikan nilai tundaan semakin besar.



Gambar 5.8. Grafik Perbandingan Panjang Antrian Kendaraan Kondisi LTOR pada variasi volume

Berdasarkan gambar grafik diatas, disimpulkan bahwa semakin besar volume pada pendekatan dan persentase volume belok kiri maka nilai panjang antrian semakin besar.



Gambar 5.9. Grafik Perbandingan Tundaan Pejalan Kaki Kondisi LTOR pada variasi volume

Berdasarkan gambar grafik diatas, disimpulkan bahwa semakin besar volume pada kaki pendekat, nilai tundaan pejalan kaki akan semakin berkurang. Sedangkan semakin besar persentase volume belok kiri maka nilai tundaan pejalan kaki akan semakin besar.

5.2. Implementasi Boleh Belok Kiri Langsung (LTOR)

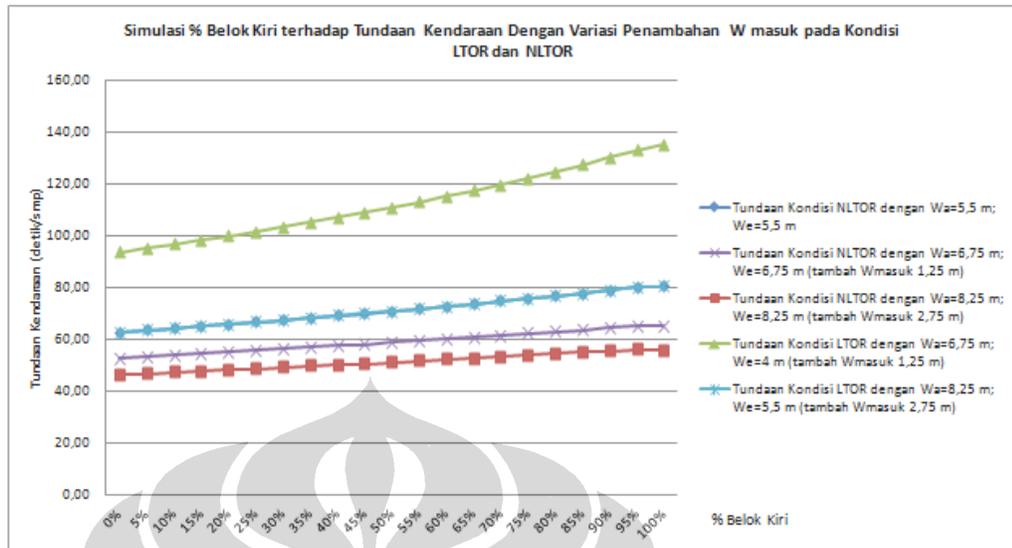
Berdasarkan hasil analisa perbandingan kinerja LTOR dengan NLTOR disimpulkan bahwa dalam kondisi yang telah ditentukan diatas, kinerja persimpangan bersinyal dengan penerapan pelarangan belok kiri langsung (NLTOR) memiliki kinerja yang lebih baik dari pada boleh belok kiri langsung (LTOR). Sehingga selanjutnya berdasarkan pola hubungan grafik antara kinerja persimpangan bersinyal LTOR dengan NLTOR dapat ditentukan kondisi batas untuk dilakukannya penerapan boleh belok kiri langsung dalam kondisi yang telah ditentukan dengan menggunakan beberapa skenario yang akan dijelaskan berikut ini:

5.3.1 Skenario I Dengan Simulasi Penambahan Lebar Masuk (Wmasuk)

Pada kondisi dasar atau kondisi yang dapat diterima (volume 500 smp/jam, W_{ltor} 2,75 m, W_{masuk} 2,75 m, W_a 5,5 m), dilakukan simulasi penambahan lebar masuk pada kondisi LTOR dan NLTOR dengan tujuan untuk mencari kondisi hasil kinerja yang lebih baik atau sama antara kinerja persimpangan dengan NLTOR dan LTOR. Simulasi dilakukan dengan rentang penambahan lebar masuk sebesar 1,25 meter dan 2,75 meter. Adapun simulasi yang telah dilakukan pada masing – masing parameter kinerja adalah seperti yang disajikan pada tabel 5.5:

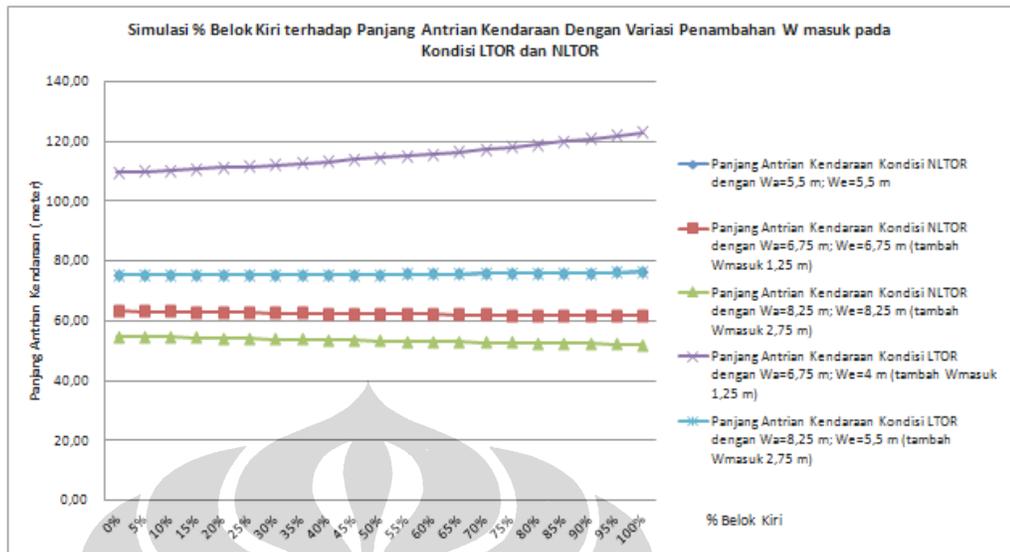
Tabel 5.5 Simulasi Penambahan Lebar Masuk Kondisi LTOR Dibandingkan Dengan Kondisi NLTOR

% Belok Kiri	NLTOR DENGAN SIMULASI PENAMBAHAN LEBAR PENDEKAT									LTOR DENGAN SIMULASI PENAMBAHAN LEBAR PENDEKAT								
	Kondisi Wa = 5,5 m; We = 5,5 m; W ltor = 2,75 m (Kondisi Dasar)			Kondisi Wa = 6,75 m; We = 6,75 m; W ltor = 2,75 m (tambah w masuk = 1,25 m)			Kondisi Wa = 8,25 m; We = 8,25 m; W ltor = 2,75 m (tambah w masuk = 2,75 m)			Kondisi Wa = 5,5 m; We = 2,75 m; W ltor = 2,75 m (Kondisi Dasar)			Kondisi Wa = 6,75 m; We = 4 m; W ltor = 2,75 m (tambah w masuk = 1,25 m)			Kondisi Wa = 8,25 m; We = 5,5 m; W ltor = 2,75 m (tambah w masuk = 2,75 m)		
	Tundaan Kendaraan (detik/smp)	Panjang Antrian Kendaraan (meter)	Tundaan Pejalan Kaki (detik)	Tundaan Kendaraan (detik/smp)	Panjang Antrian Kendaraan (meter)	Tundaan Pejalan Kaki (detik)	Tundaan Kendaraan (detik/smp)	Panjang Antrian Kendaraan (meter)	Tundaan Pejalan Kaki (detik)	Tundaan Kendaraan (detik/smp)	Panjang Antrian Kendaraan (meter)	Tundaan Pejalan Kaki (detik)	Tundaan Kendaraan (detik/smp)	Panjang Antrian Kendaraan (meter)	Tundaan Pejalan Kaki (detik)	Tundaan Kendaraan (detik/smp)	Panjang Antrian Kendaraan (meter)	Tundaan Pejalan Kaki (detik)
0%	62,73	75,53	46,64	52,73	63,27	40,35	46,30	54,62	36,17	239,90	244,34	144,77	93,60	109,47	65,08	62,73	75,53	46,64
5%	63,47	75,51	46,95	53,30	63,16	40,55	46,77	54,67	36,31	248,17	249,26	148,98	95,09	109,86	65,80	63,47	75,51	46,95
10%	64,24	75,49	47,27	53,87	63,05	40,76	47,24	54,52	36,46	257,03	254,55	153,50	96,62	110,27	66,54	64,24	75,49	47,27
15%	65,01	75,48	47,59	54,46	62,94	40,97	47,71	54,37	36,60	266,56	260,24	158,35	98,20	110,71	67,30	65,01	75,48	47,59
20%	65,80	75,47	47,92	55,05	62,84	41,19	48,19	54,22	36,75	276,82	266,39	163,57	99,83	111,16	68,10	65,80	75,47	47,92
25%	66,61	75,47	48,26	55,64	62,74	41,41	48,68	54,07	36,91	287,92	273,05	169,22	101,51	111,64	68,92	66,61	75,47	48,26
30%	67,43	75,47	48,61	56,25	62,65	41,63	49,17	53,93	37,07	299,94	280,29	175,34	103,25	112,14	69,77	67,43	75,47	48,61
35%	68,27	75,48	48,97	56,87	62,55	41,87	49,67	53,79	37,23	313,03	288,18	181,99	105,05	112,68	70,66	68,27	75,48	48,97
40%	69,13	75,50	49,35	57,50	62,46	42,11	50,17	53,64	37,39	327,32	296,81	189,25	106,91	113,24	71,58	69,13	75,50	49,35
45%	69,75	75,52	49,73	57,88	62,37	42,35	50,43	53,50	37,56	342,98	306,29	197,21	108,84	113,83	72,53	70,00	75,52	49,73
50%	70,90	75,55	50,12	58,78	62,29	42,60	51,19	53,36	37,73	360,23	316,75	205,97	110,84	114,45	73,53	70,90	75,55	50,12
55%	71,82	75,59	50,53	59,44	62,21	42,86	51,72	53,22	37,91	379,33	328,33	215,66	112,92	115,11	74,57	71,82	75,59	50,53
60%	72,76	75,63	50,94	60,11	62,13	43,12	52,25	53,09	38,09	400,58	341,24	226,43	115,08	115,80	75,64	72,76	75,63	50,94
65%	73,72	75,69	51,37	60,80	62,05	43,40	52,78	52,96	38,27	424,37	355,70	238,49	117,32	116,53	76,77	73,72	75,69	51,37
70%	74,70	75,75	51,82	61,49	61,98	43,68	53,33	52,82	38,46	451,17	372,00	252,06	119,66	117,31	77,95	74,70	75,75	51,82
75%	75,71	75,82	52,28	62,20	61,92	43,96	53,88	52,69	38,66	481,62	390,54	267,45	122,09	118,13	79,17	75,71	75,82	52,28
80%	76,74	75,90	52,75	62,93	61,85	44,26	54,44	52,56	38,86	516,48	411,77	285,07	124,64	118,99	80,46	76,74	75,90	52,75
85%	77,81	75,99	53,24	63,66	61,80	44,56	55,01	52,44	39,06	556,80	436,34	305,43	127,29	119,91	81,80	77,81	75,99	53,24
90%	78,90	76,08	53,74	64,41	61,74	44,88	55,59	52,31	39,28	603,96	465,09	329,22	130,06	120,88	83,21	78,90	76,08	53,74
95%	80,02	76,19	54,27	65,18	61,69	45,20	56,18	52,19	39,49	659,86	499,17	357,38	132,97	121,90	84,69	80,02	76,19	54,27
100%	80,32	76,31	54,81	65,11	61,65	45,53	55,92	52,07	39,71	726,31	540,20	391,26	135,16	122,99	86,24	80,32	76,31	54,81



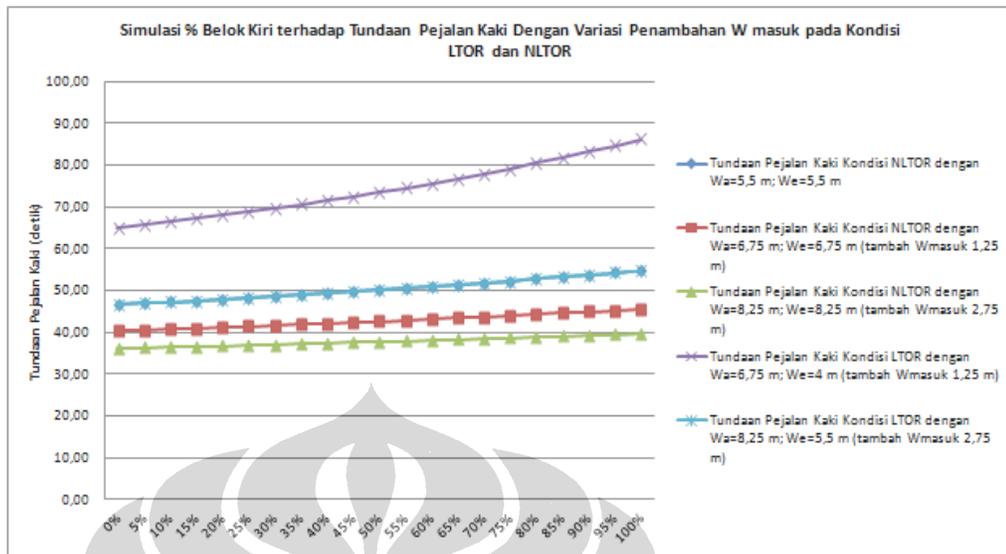
Gambar 5.10. Grafik Simulasi Penambahan Lebar Masuk Pada kondisi LTOR dan NLTOR Untuk Kinerja Tundaan Kendaraan

Berdasarkan gambar 5.10, diketahui bahwa penambahan lebar masuk pendekat persimpangan dapat menurunkan nilai tundaan dan semakin besar penambahan lebar masuk pendekat, trend selisih antara LTOR dan NLTOR semakin kecil. Dengan menambah lebar masuk sebesar 1,25 meter nilai tundaan kondisi LTOR masih lebih tinggi dari pada kondisi NLTOR (kondisi dasar atau kondisi yang dapat diterima yaitu pada $W_a=5,5$ m dan $W_e=5,5$ m). Sedangkan dengan penambahan lebar masuk sebesar 2,75 m dapat menurunkan nilai tundaan sama dengan nilai tundaan pada kondisi NLTOR (kondisi dasar atau kondisi yang dapat diterima yaitu pada $W_a=5,5$ m dan $W_e=5,5$ m).



Gambar 5.11. Grafik Simulasi Penambahan Lebar Masuk Pada kondisi LTOR dan NLTOR Untuk Kinerja Panjang Antrian Kendaraan

Berdasarkan gambar 5.11, diketahui bahwa penambahan lebar masuk pendekat persimpangan dapat menurunkan nilai panjang antrian dan semakin besar penambahan lebar masuk pendekat, trend selisih antara LTOR dan NLTOR semakin kecil. Dengan menambah lebar masuk sebesar 1,25 meter nilai panjang antrian kondisi LTOR masih lebih tinggi dari pada kondisi NLTOR (kondisi dasar atau kondisi yang dapat diterima yaitu pada $W_a=5,5$ m dan $W_e=5,5$ m). Sedangkan dengan penambahan lebar masuk sebesar 2,75 dapat menurunkan nilai panjang antrian sama dengan nilai panjang antrian pada kondisi NLTOR (kondisi dasar atau kondisi yang dapat diterima yaitu pada $W_a=5,5$ m dan $W_e=5,5$ m).

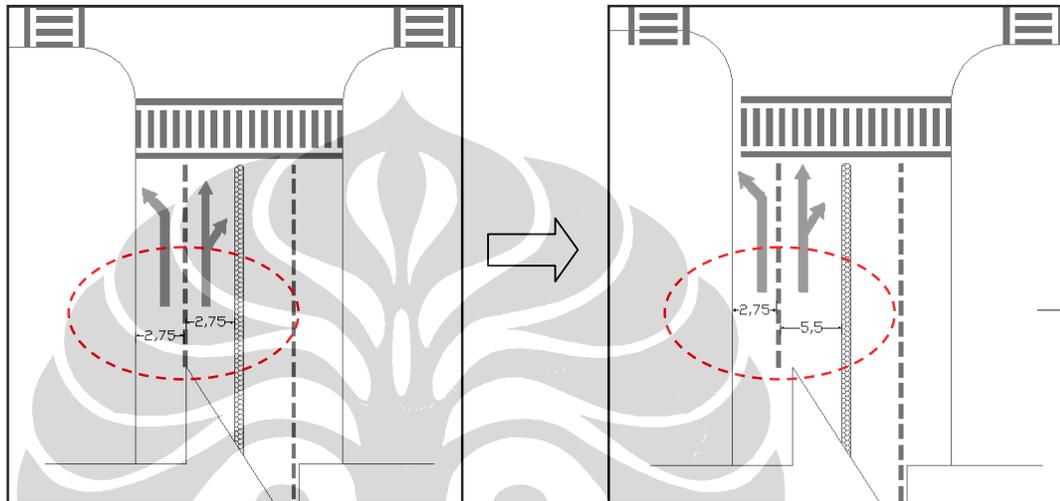


Gambar 5.12. Grafik Simulasi Penambahan Lebar Masuk Pada kondisi LTOR dan NLTOR Untuk Kinerja Tundaan Pejalan Kaki

Berdasarkan gambar 5.12, diketahui bahwa penambahan lebar masuk pendekat persimpangan dapat menurunkan nilai tundaan pejalan kaki dan semakin besar penambahan lebar masuk pendekat, trend selisih antara LTOR dan NLTOR semakin kecil. Dengan menambah lebar masuk sebesar 1,25 meter nilai tundaan pejalan kaki kondisi LTOR masih lebih tinggi dari pada kondisi NLTOR (kondisi dasar atau kondisi yang dapat diterima yaitu pada $W_a=5,5$ m dan $W_e=5,5$ m). Sedangkan dengan penambahan lebar masuk sebesar 2,75 dapat menurunkan nilai tundaan pejalan kaki sama dengan nilai tundaan pejalan kaki pada kondisi NLTOR (kondisi dasar atau kondisi yang dapat diterima yaitu pada $W_a=5,5$ m dan $W_e=5,5$ m).

Dari hasil simulasi yang dilakukan, nilai kinerja persimpangan kondisi LTOR setelah dilakukan penambahan lebar masuk, mendekati atau lebih rendah dari kinerja persimpangan kondisi NLTOR (kondisi dasar atau kondisi yang dapat diterima yaitu pada $W_a=5,5$ m dan $W_e=5,5$ m) adalah dengan melakukan penambahan lebar masuk sebesar 2,75 meter. Sehingga dengan adanya perubahan

desain berupa penambahan lebar masuk tersebut, pengaturan boleh belok kiri langsung dapat diterapkan (Kinerja persimpangan dengan LTOR lebih baik dari kondisi yang dapat diterima (kondisi dasar) persimpangan dengan NLTOR. Perubahan desain geometrik diatas dapat dilihat pada ilustrasi gambar sebagai berikut :



Gambar 5.13. Perubahan Desain Geometrik Dengan Penambahan Lebar Masuk Sebesar 2,75 Meter

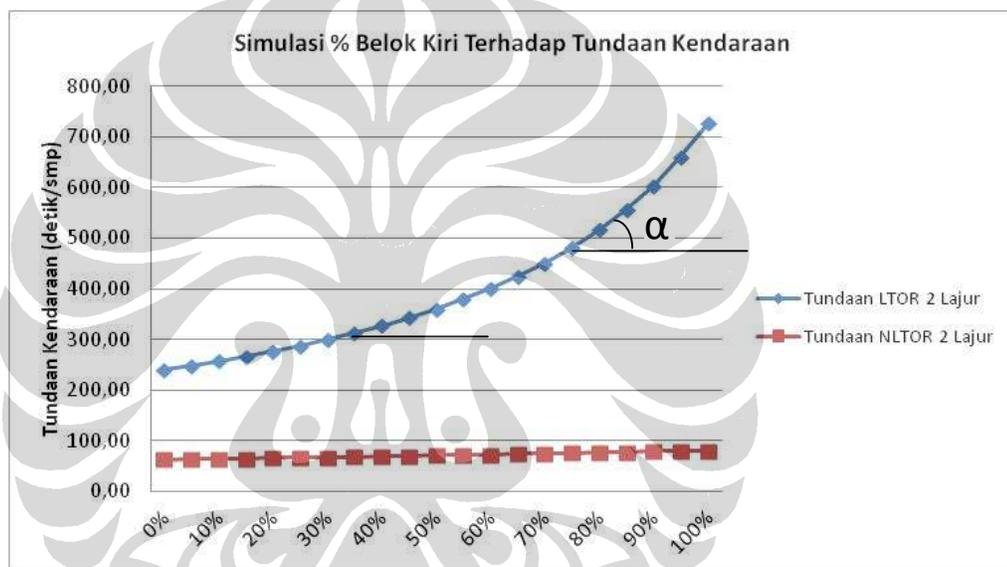
5.3.2 Skenario II Dengan Penentuan Sistem Cluster (kelompok pada grafik kinerja dengan LTOR)

Pada skenario II ini, hasil kinerja persimpangan dengan LTOR dan NLTOR dari titik terkecil persentase boleh belok kiri dianggap memiliki besaran yang sama yaitu pada kondisi yang dapat diterima. Akan tetapi seiring dengan kenaikan persentase boleh belok kiri perubahan kinerja memiliki tingkatan yang berbeda dan perlu dilakukan pengelompokan kondisi dimana kapan masih diperbolehkan boleh belok kiri, diperbolehkan boleh belok kiri dengan syarat dan pelarangan boleh belok kiri (dalam satu fase tersendiri).

Perubahan kinerja antara grafik LTOR dengan NLTOR memiliki perbedaan yang signifikan. Pada grafik LTOR gambar 5.14, nilai (α) cenderung

Universitas Indonesia

bergerak dengan cepat (exponential) sedangkan pada grafik NLTOR perubahan nilai (α) bergerak dengan lebih lambat. Hal tersebut dikarenakan ketentuan yang menyatakan bahwa arus lalu lintas belok kiri pada kondisi LTOR menggunakan lajur khusus belok kiri. Sehingga semakin tinggi persentase belok kiri langsung maka semakin tinggi nilai tundaan persimpangannya. Sedangkan untuk perubahan nilai (α) pada kondisi NLTOR cenderung dengan lebih lambat dikarenakan beban arus lalu lintas terdistribusi pada semua lajur yang tersedia. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada gambar 5.14 sebagai berikut :

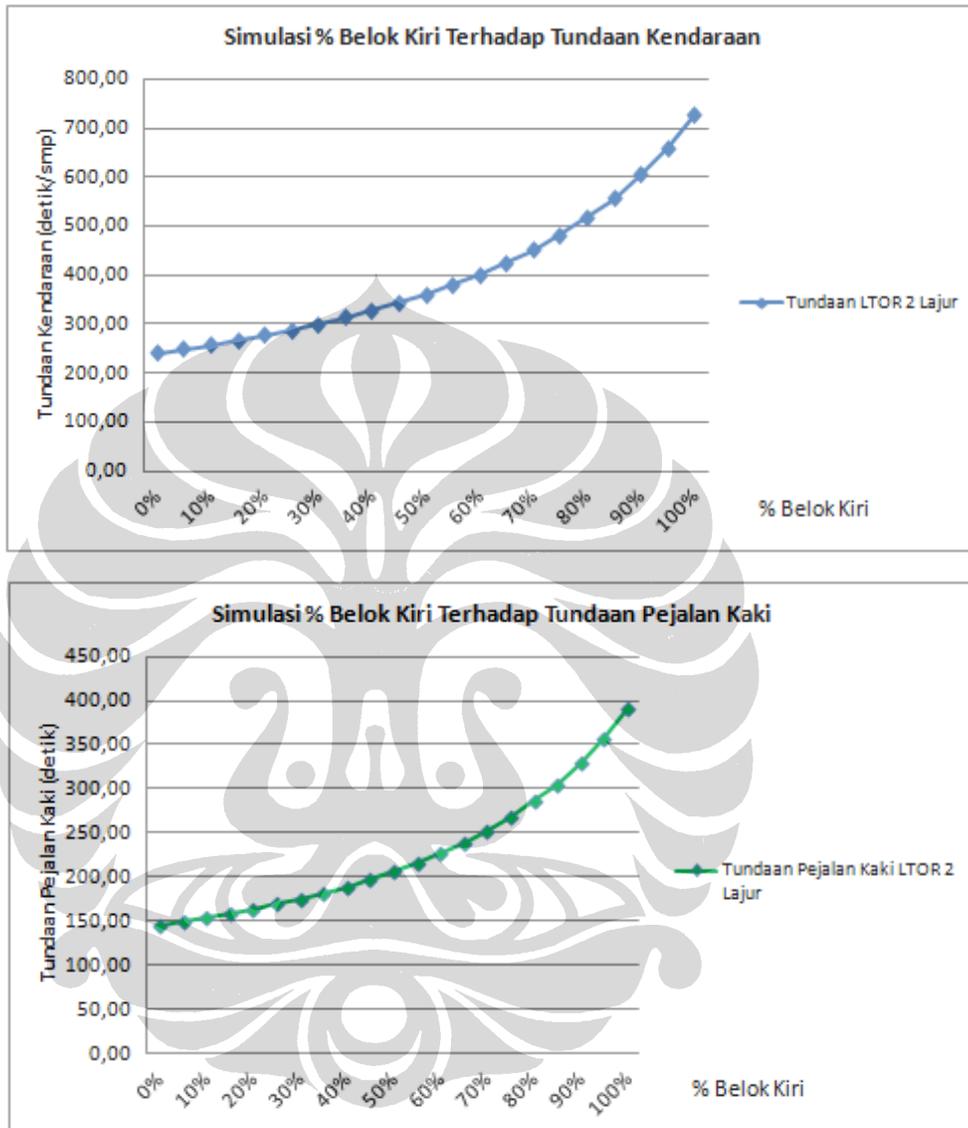


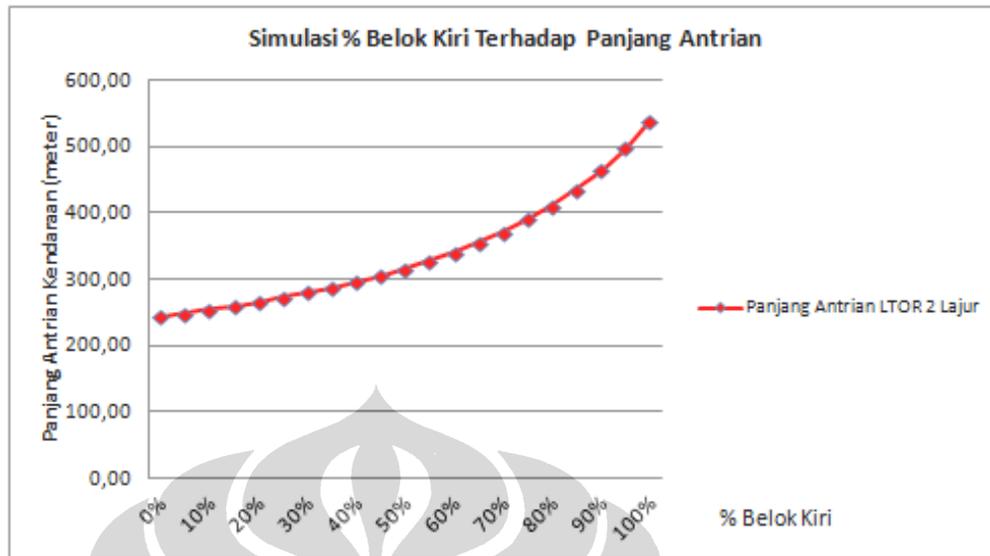
Gambar 5.14. Grafik Perubahan Nilai (α) Pada Kondisi LTOR dan NLTOR

Berdasarkan gambar 5.14, nilai kinerja pada kondisi LTOR di titik tertentu mengalami perubahan nilai (α) dengan cepat sedangkan pada kondisi NLTOR memiliki perubahan nilai (α) yang cenderung lambat.

Dalam menentukan kelompok pada grafik kinerja LTOR digunakan pendekatan analisis regresi linear. Dimana kumpulan nilai kinerja yang memiliki nilai R^2 lebih besar dari 0,95 diasumsikan linear dan merupakan satu kelompok. Perubahan bentuk pada grafik LTOR menggambarkan perubahan kondisi

(berbeda kelompok). Sebagai grafik dasar penentuan kelompok kelas pada kondisi LTOR dapat dilihat pada gambar 5.15 sebagai berikut :





Gambar 5.15. Grafik Dasar Penentuan Kelas Pada Kondisi LTOR

Dalam menentukan kelompok kelas, dipisahkan menjadi dua golongan yaitu untuk kinerja waktu tundaan kendaraan, panjang antrian kendaraan dan tundaan pejalan kaki. Hal tersebut dikarenakan pola perubahan nilai (α) antara kedua golongan tersebut memiliki bentuk yang berbeda. Jika bentuk grafik tundaan kendaraan dan panjang antrian kendaraan memiliki perubahan nilai (α) yang cenderung cepat sedangkan tundaan pejalan kaki memiliki perubahan nilai (α) yang cenderung lambat. Simulasi untuk penentuan kelas pada masing – masing golongan disajikan pada bagian berikut.

5.3.2.1 Penentuan Kelas Untuk Tundaan dan Panjang Antrian

Skenario penentuan kelas dengan analisis regresi menggunakan data tabel 5.6 hasil kinerja dasar LTOR sebagai berikut :

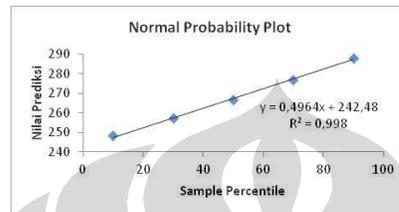
Tabel 5.6 Tabel Dasar Untuk Penentuan Kelas Pada Kondisi LTOR

% Belok Kiri	Tundaan Pejalan Kaki (detik)	Tundaan Kendaraan (detik/smp)	Panjang Antrian (meter)	Selisih Tundaan	Selisih Antrian	Selisih Tundaan Pejalan Kaki
0%	144,77	239,90	244,34			
5%	148,98	248,17	249,26	8,27	4,92	4,21
10%	153,50	257,03	254,55	8,86	5,29	4,51
15%	158,35	266,56	260,24	9,53	5,69	4,85
20%	163,57	276,82	266,39	10,26	6,15	5,23
25%	169,22	287,92	273,05	11,09	6,66	5,65
30%	175,34	299,94	280,29	12,03	7,24	6,12
35%	181,99	313,03	288,18	13,08	7,89	6,65
40%	189,25	327,32	296,81	14,29	8,63	7,26
45%	197,21	342,98	306,29	15,67	9,48	7,96
50%	205,97	360,23	316,75	17,25	10,45	8,76
55%	215,66	379,33	328,33	19,10	11,58	9,69
60%	226,43	400,58	341,24	21,25	12,90	10,77
65%	238,49	424,37	355,70	23,79	14,46	12,05
70%	252,06	451,17	372,00	26,81	16,31	13,57
75%	267,45	481,62	390,54	30,44	18,53	15,40
80%	285,07	516,48	411,77	34,86	21,24	17,62
85%	305,43	556,80	436,34	40,32	24,57	20,36
90%	329,22	603,96	465,09	47,16	28,75	23,79
95%	357,38	659,86	499,17	55,90	34,08	28,17
100%	391,26	726,31	540,20	66,44	41,03	33,88

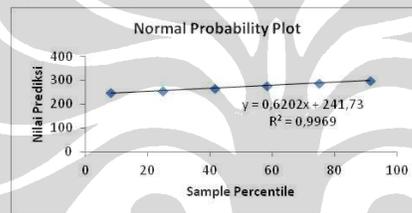
Dari data tabel 5.6 ditentukan kelompok data dengan analisa regresi linear dengan beberapa skenario rentang persentase belok kiri yang hasilnya dapat dilihat pada pembahasan berikut :

a. Kelas Bawah (I)

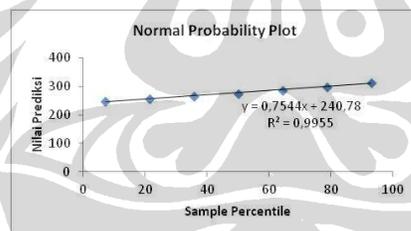
- Skenario untuk data % Belok Kiri : 0 – 25%



- Skenario untuk data % Belok Kiri : 0 – 30%



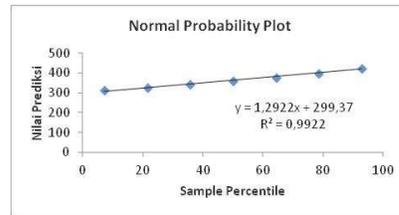
- Skenario untuk data % Belok Kiri : 0 – 35%



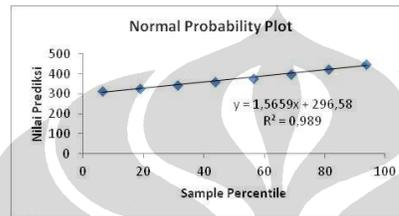
Dari beberapa skenario diatas Nilai R^2 yang paling besar adalah 0-25% sehingga dapat diambil kesimpulan untuk kelas bawah yg diambil adalah kelas 0 – 25 %.

b. Kelas Tengah (II)

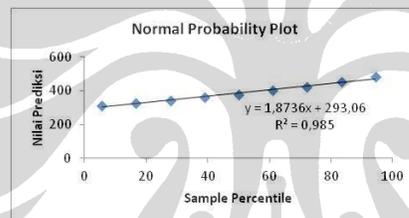
- Skenario untuk data % Belok Kiri : 25 – 65%



- Skenario untuk data % Belok Kiri : 25 – 70%



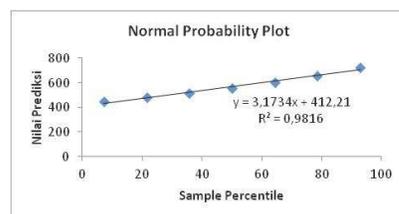
- Skenario untuk data % Belok Kiri : 25 – 75%



Dari beberapa skenario diatas Nilai R^2 yang paling besar adalah 25-65% sehingga dapat diambil kesimpulan untuk kelas tengah yg diambil adalah kelas 25 – 65 %.

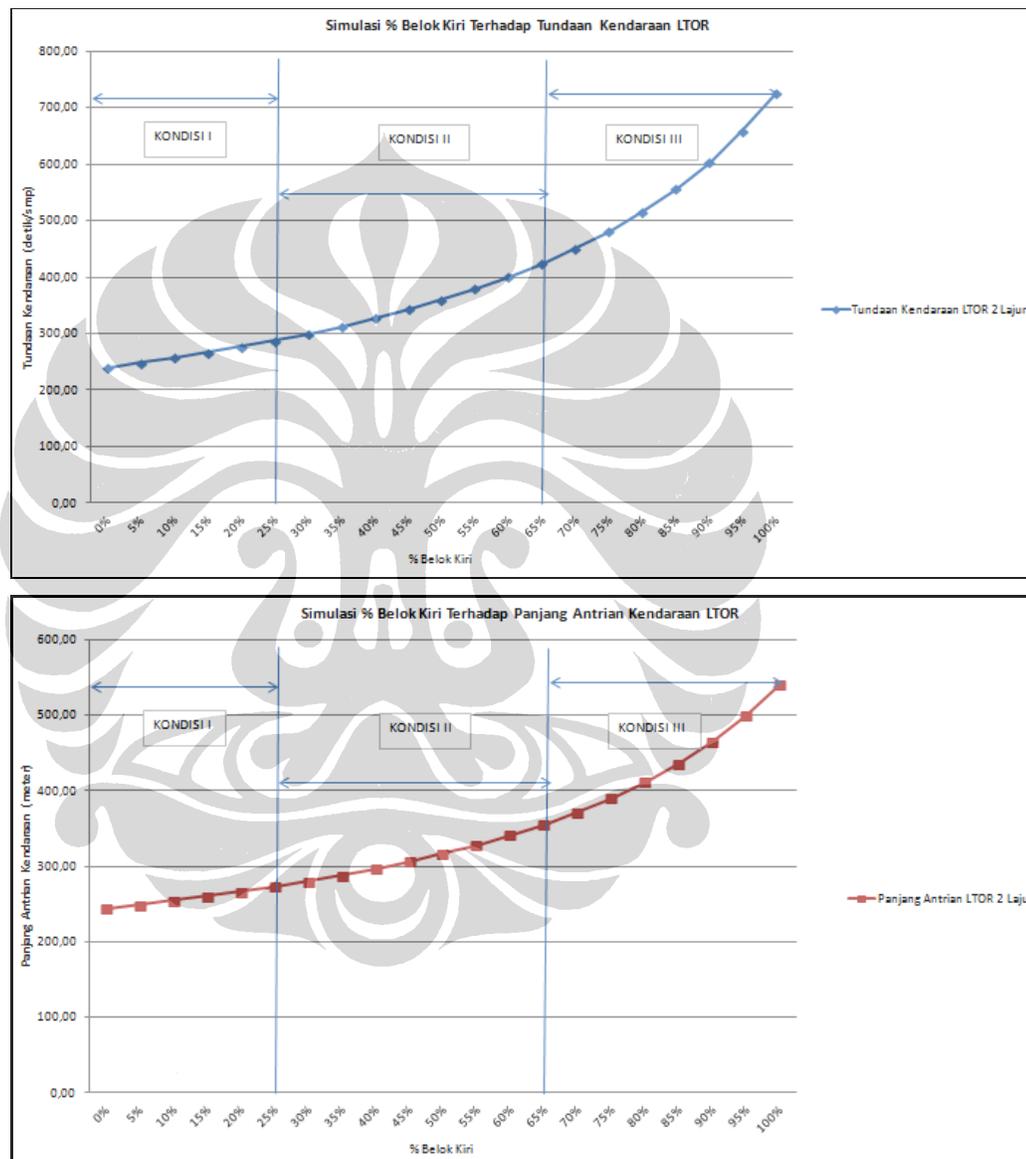
c. Kelas Atas (III)

- Skenario untuk data % Belok Kiri : 65 – 100%



Untuk kelas atas yang digunakan adalah data persentase belok kiri dari 65% sampai 100%.

Hasil skenario penentuan kelas yang telah dilakukan, digambarkan dalam bentuk grafik pada gambar 5.16 sebagai berikut :



Gambar 5.16. Grafik Kelas Untuk Kinerja Tundaan dan Panjang Antrian Pada Kondisi LTOR

Universitas Indonesia

Keterangan :

Kelas Bawah (Kondisi I) : Merupakan kondisi dimana pengaturan belok kiri langsung masih diperbolehkan dilihat dari parameter tundaan kendaraan dan panjang antrian lalu lintas.

Kelas Tengah (Kondisi II) : Merupakan kondisi dimana pengaturan belok kiri langsung diperbolehkan tetapi dengan syarat harus dilakukan manajemen sehingga dapat menurunkan nilai parameter tundaan dan panjang antrian sehingga mencapai titik sama dengan kondisi I (misal dengan penambahan lebar pendekat dan lebar masuk pendekat)

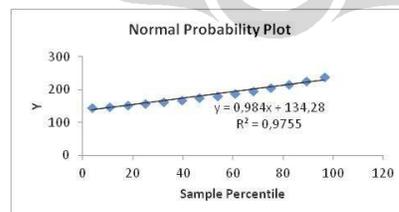
Kelas Atas (Kondisi III) : Merupakan kondisi dimana pengaturan belok kiri langsung sudah tidak bisa dilakukan (NLTOR) atau kondisi dimana arus pada kaki pendekat tersebut harus sudah diakomodir dalam satu fase sinyal lampu lalu lintas.

5.3.2.2 Penentuan Kelas Untuk Tundaan Pejalan Kaki

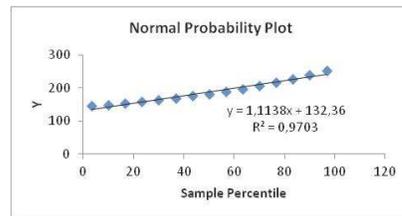
Skenario penentuan kelas menggunakan data tabel 5.6 hasil kinerja dasar LTOR. Dari data tabel tersebut ditentukan kelompok data dengan analisa regresi linear dengan beberapa skenario rentang persentase belok kiri yang hasilnya dapat dilihat pada pembahasan berikut :

a. Kelas Bawah (I)

- Simulasi untuk data % Belok Kiri 0 – 65%



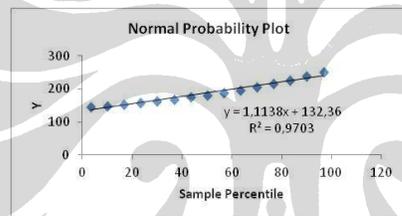
- Simulasi untuk data % Belok Kiri 0 – 70%



Dari beberapa skenario diatas Nilai R^2 yang paling besar adalah pada rentang 0-65% sehingga dapat diambil kesimpulan untuk kelas bawah yg diambil adalah kelas 0 – 65 %.

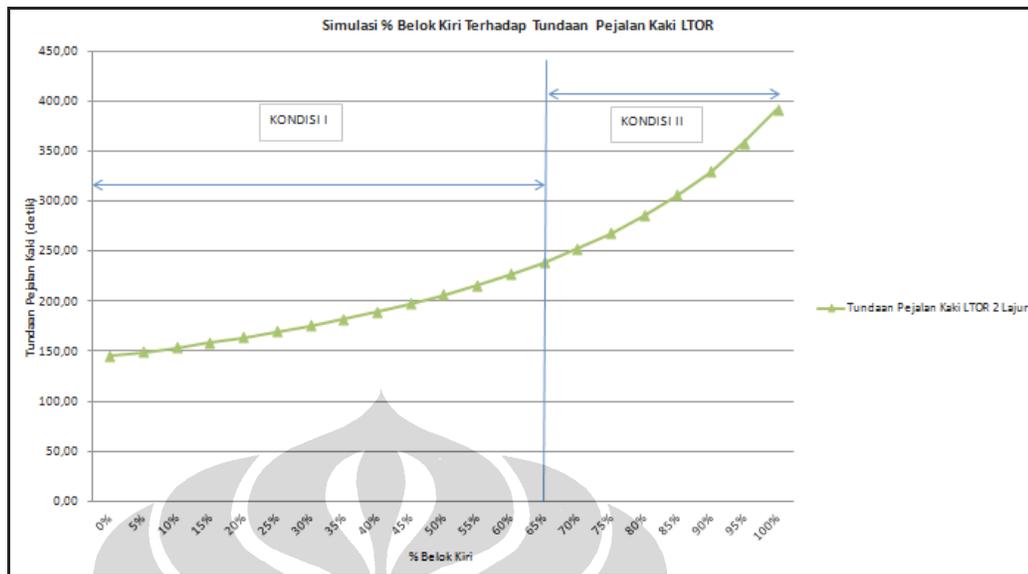
b. Kelas Atas (II)

- Simulasi untuk data % Belok Kiri 65 – 100%



Untuk kelas atas yang digunakan adalah data rentang persentase belok kiri dari 65% sampai 100%.

Hasil skenario penentuan kelas yang telah dilakukan, digambarkan dalam bentuk grafik pada gambar 5.17 sebagai berikut :



Gambar 5.17. Grafik Kelas Untuk Kinerja Tundaan Pejalan Kaki Pada Kondisi LTOR

Keterangan :

Kelas Bawah (Kondisi I) : Merupakan kondisi dimana pengaturan belok kiri langsung masih diperbolehkan dilihat dari parameter tundaan pejalan kaki.

Kelas Atas (Kondisi II) : Merupakan kondisi dimana pengaturan belok kiri langsung sudah tidak bisa dilakukan (NLTOR) atau kondisi dimana arus pada kaki pendekat tersebut harus sudah diakomodir dalam satu fase sinyal lampu lalu lintas.

BAB 6

KESIMPULAN DAN SARAN

6.1. Kesimpulan

Kesimpulan yang dapat diambil pada penulisan thesis ini adalah :

- a. Berdasarkan proses validasi penggunaan model MKJI dan penggunaan Software Vissim, menyatakan bahwa model MKJI valid dan dapat digunakan sebagai alat simulasi data. Sedangkan software vissim, meskipun sudah dilakukan kalibrasi beberapa parameter belum didapatkan kondisi yang sesuai dengan hasil survai lapangan.
- b. Berdasarkan simulasi pada beberapa kondisi volume lalu lintas disimpulkan bahwa dalam kondisi volume 500 – 1000 smp/jam dan lebar pendekat 5,5 meter, kinerja persimpangan pada kondisi NLTOR lebih baik dari pada kondisi LTOR.
- c. Berdasarkan pola hubungan grafik antara kinerja persimpangan bersinyal LTOR dengan NLTOR dapat ditentukan kondisi batas untuk dilakukannya penerapan boleh belok kiri langsung dalam kondisi yang telah ditentukan dengan menggunakan skenario sebagai berikut:

- 1) Skenario I Dengan Simulasi Penambahan Lebar Masuk (Wmasuk)

Pada kondisi yang sama (volume 500 smp/jam, Wltor 2,75 m, W masuk 2,75 m, Wa 5,5 m) dengan analisa pelarangan belok kiri langsung (NLTOR), dilakukan simulasi penambahan lebar masuk pada kondisi LTOR dengan tujuan untuk mencari kondisi hasil kinerja yang lebih baik atau sama dengan kinerja persimpangan dengan NLTOR. Simulasi dilakukan dengan rentang penambahan lebar masuk sebesar 1,25 meter dan 2,75 meter.

Pada simulasi penambahan lebar masuk sebesar 2,75 meter, nilai kinerja persimpangan kondisi LTOR memiliki nilai yang sama dengan kinerja persimpangan kondisi NLTOR. Sehingga dengan

adanya perubahan desain berupa penambahan lebar masuk tersebut, pengaturan boleh belok kiri langsung dapat diterapkan (Kinerja persimpangan dengan LTOR = kinerja persimpangan dengan NLTOR).

1) Skenario II Dengan Penentuan Sistem Cluster (kelompok pada grafik kinerja dengan LTOR)

Pada skenario II ini, hasil kinerja persimpangan dengan LTOR dan NLTOR dari titik terkecil persentase belok kiri dianggap memiliki besaran yang sama yaitu pada kondisi yang dapat diterima. Akan tetapi seiring dengan kenaikan persentase belok kiri perubahan kinerja memiliki tingkatan yang berbeda dan perlu dilakukan pengelompokan kondisi dimana kapan masih diperbolehkan belok kiri, diperbolehkan belok kiri dengan syarat dan pelarangan belok kiri (dalam satu fase tersendiri).

Dalam menentukan kelompok kelas, dipisahkan menjadi dua golongan yaitu untuk kinerja waktu tundaan kendaraan, panjang antrian kendaraan dan tundaan pejalan kaki. Adapun simulasi untuk penentuan kelas pada masing – masing golongan adalah sebagai berikut:

a) Penentuan Kelas Untuk Tundaan dan Panjang Antrian

Kondisi I yaitu rentang % belok kiri antara 0 – 25%

Merupakan kondisi dimana pengaturan belok kiri langsung masih diperbolehkan dilihat dari parameter tundaan kendaraan dan panjang antrian lalu lintas.

Kondisi II yaitu rentang % belok kiri antara 25 – 65%

Merupakan kondisi dimana pengaturan belok kiri langsung diperbolehkan tetapi dengan syarat harus dilakukan manajemen sehingga dapat menurunkan nilai parameter tundaan kendaraan dan panjang antrian kendaraan sehingga

mencapai titik sama dengan kondisi I (misal dengan penambahan lebar pendekat dan lebar masuk pendekat)

Kondisi III yaitu rentang % belok kiri antara 65 – 100%

Merupakan kondisi dimana pengaturan belok kiri langsung sudah tidak bisa dilakukan (NLTOR) atau kondisi dimana arus pada kaki pendekat tersebut harus sudah diakomodir dalam satu fase sinyal lampu lalu lintas.

b) Penentuan Kelas Untuk Tundaan Pejalan Kaki

Kondisi I yaitu rentang % belok kiri antara 0 – 65%

Merupakan kondisi dimana pengaturan belok kiri langsung masih diperbolehkan dilihat dari parameter tundaan pejalan kaki.

Kondisi II yaitu rentang % belok kiri antara 65 – 100%

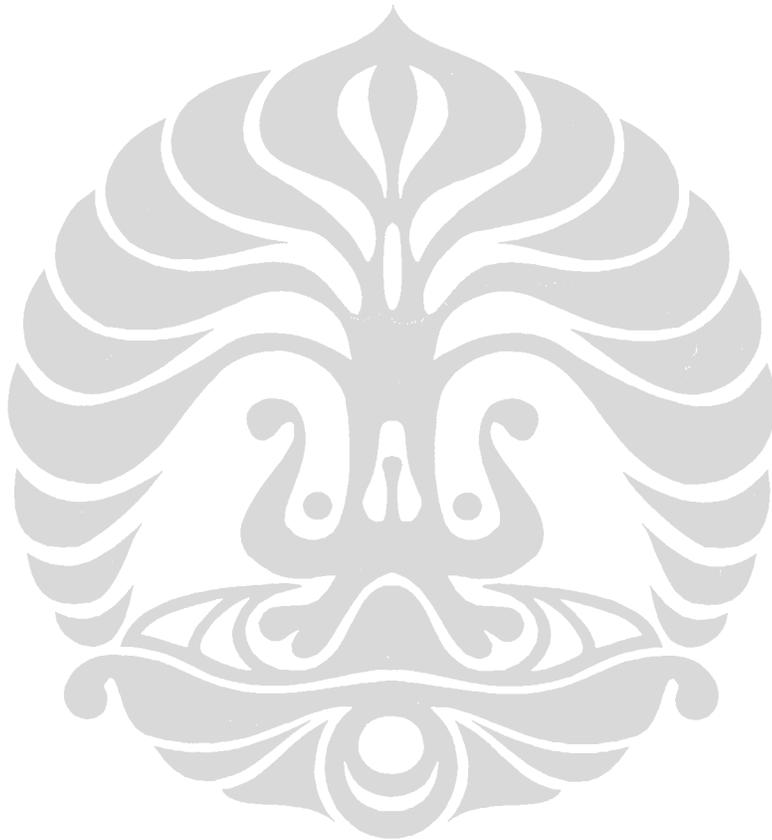
Merupakan kondisi dimana pengaturan belok kiri langsung sudah tidak bisa dilakukan (NLTOR) atau kondisi dimana arus pada kaki pendekat tersebut harus sudah diakomodir dalam satu fase sinyal lampu lalu lintas.

6.1. Saran

- a. Perlunya dilakukan kajian atau penelitian yang lebih komprehensif terkait kalibrasi software vissim sehingga dapat dipergunakan untuk simulasi dengan kondisi simpang yang mempunyai karakteristik yang sama dengan lokasi penelitian.
- b. Perlu standarisasi dan identifikasi yang jelas terhadap penerapan sistim LTOR atau N-LTOR di lapangan sehingga tidak membingungkan pengguna jalan.
- c. Perlunya segera dikeluarkan PP (Peraturan Pemerintah) sebagai turunan dari UU No. 22 tahun 2009 sehingga ada pedoman atau petunjuk teknis dalam penerapan peraturan pelaksanaan dari UU tersebut di lapangan.

Universitas Indonesia

Khususnya mengenai pengaturan pelarangan belok kiri langsung yang dapat diatur sesuai hasil dari penelitian ini.



DAFTAR PUSTAKA

- Alamsyah Alik Ansyori. (2005). *Rekayasa Lalu Lintas*, Universitas Muhammadiyah Malang, Malang.
- Direktorat Jenderal Perhubungan Darat (2009). *Undang-Undang Republik Indonesia Nomor 22 Tahun 2009 Tentang Lalu Lintas dan Angkutan Jalan*, Jakarta.
- Direktorat Jenderal Bina Marga (1997). *Manual Kapasitas Jalan Indonesia*, Sweroad, PT Bina Karya, Jakarta.
- Francois Dion, Heskam Rakha, Youn-Soo Kang (2002), *Comparison Of Delay Estimates At Under-Saturated And Over-Saturated Pre-Timed Signalized Intersections*, Virginia Tech Transportation Institute, USA.
- Harinaldi (2005). *Prinsip – Prinsip Statistik Untuk Teknik Dan Sains*, Erlangga, Jakarta.
- Khisty C. Jotin. dan Lall B. Kent (2003). *Dasar-dasar Rekayasa Transportasi Jilid I*, Erlangga, Jakarta.
- Khisty C. Jotin. dan Lall B. Kent (2003). *Dasar-dasar Rekayasa Transportasi Jilid II*, Erlangga, Jakarta.
- Munawar Ahmad. (2006). *Manajemen Lalu Lintas Perkotaan*, Beta Offset, Jogjakarta.
- Morlok K. Edward. (1984). *Pengantar Teknik dan Perencanaan Transportasi*, Erlangga, Jakarta.
- Oglesby Clarkson H. dan Hicks R. Gary (1990). *Teknik Jalan Raya*, Erlangga, Jakarta.
- Planung Transport Verkehr AG. (2007). *Vissim 5.0 User Manual*, Planung Transport Verkehr AG PTV, Germany.
- Qingfeng Li, Zhaoan Wang, Jianguo Yang, Jinmei Wang (2004), *Pedestrian Delay Estimation At Signalized Intersection In Developing Cities*, Xi'an Jiaotong University, China.
- Salter R.J. (1976). *Highway Traffic Analysis and Design*, The Macmillan Press LTD, Hongkong.