

TUGAS AKHIR

**ANALISA KINERJA PADA SIMPANG BERSINYAL
MENGUNAKAN METODE MKJI 1997
(STUDI KASUS: SIMPANG EMPAT JATI RAYA,
BANYUMANIK, SEMARANG, JAWA TENGAH)**

**Diajukan untuk Memenuhi Persyaratan dalam Menyelesaikan
Program Sarjana Program Studi Teknik Sipil
Fakultas Teknik Universitas Islam Sultan Agung**



Disusun Oleh :

**Danang Ferdian
NIM : 30202100269**

**Fachrul Ramadhan
NIM : 30202100270**

**PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS ISLAM SULTAN AGUNG
2023**

TUGAS AKHIR

**ANALISA KINERJA PADA SIMPANG BERSINYAL
MENGUNAKAN METODE MKJI 1997
(STUDI KASUS: SIMPANG EMPAT JATI RAYA,
BANYUMANIK, SEMARANG, JAWA TENGAH)**

**Diajukan untuk Memenuhi Persyaratan dalam Menyelesaikan
Program Sarjana Program Studi Teknik Sipil
Fakultas Teknik Universitas Islam Sultan Agung**



Disusun Oleh :

Danang Ferdian
NIM : 30202100269

Fachrul Ramadhan
NIM : 30202100270

**PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS ISLAM SULTAN AGUNG
2023**

LEMBAR PENGESAHAN

ANALISA KINERJA PADA SIMPANG BERSINYAL
MENGUNAKAN METODE MKJI 1997
(STUDI KASUS: SIMPANG EMPAT JATI RAYA,
BANYUMANIK, SEMARANG, JAWA TENGAH)



Danang Ferdian
NIM : 30202100269



Fachrul Ramadhan
NIM : 30202100270

Telah disetujui dan disahkan di Semarang, 8 Agustus 2023

Tim Penguji

Tanda Tangan

1. **Ir. H. Rachmat Mudiyo, M.T., Ph.D.**
NIDN: 0605016802
2. **Dr. Ir. H. Kartono Wibowo, M.M., M.T.**
NIDN: 0614066301
3. **Juny Andry Sulisty, S.T., M.T.**
NIDN: 0611118903

Ketua Program Studi Teknik Sipil
Fakultas Teknik
Universitas Islam Sultan Agung

Muhamad Rusli Ahyar, ST., M.Eng.
NIDN: 0625059102

BERITA ACARA BIMBINGAN TUGAS AKHIR

No: 52 / A.2 / SA - T / VII / 2023

Pada hari ini tanggal 27 Juli 2023 berdasarkan surat keputusan Dekan Fakultas Teknik, Universitas Islam Sultan Agung perihal penunjukan Dosen Pembimbing Utama dan Dosen Pembimbing Pendamping:

1. Nama : Ir. H. Rachmat Mudiyo, M.T., Ph.D.
Jabatan Akademik : Lektor Kepala
Jabatan : Dosen Pembimbing Utama
2. Nama : Dr. Ir. H. Kartono Wibowo, M.M., M.T.
Jabatan Akademik : Lektor Kepala
Jabatan : Dosen Pembimbing Pendamping

Dengan ini menyatakan bahwa mahasiswa yang tersebut di bawah ini telah menyelesaikan bimbingan Tugas Akhir:

Danang Ferdian
NIM : 30202100269

Fachrul Ramadhan
NIM : 30202100270

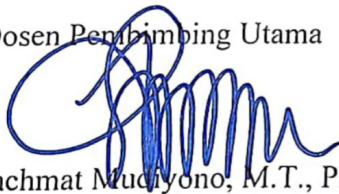
Judul: “Analisa Kinerja Pada Simpang Bersinyal Menggunakan Metode MKJI 1997 (Studi Kasus: Simpang Empat Jati Raya, Banyumanik, Semarang, Jawa Tengah)”

Dengan tahapan sebagai berikut :

No	Tahapan	Tanggal	Keterangan
1	Penunjukan Dosen Pembimbing	24/03/2023	-
2	Seminar Proposal	23/06/2023	ACC
3	Pengumpulan Data	08/07/2023	-
4	Analisis Data	10/07/2023	-
5	Penyusunan Laporan	11/07/2023	-
6	Selesai Laporan	25/07/2023	ACC

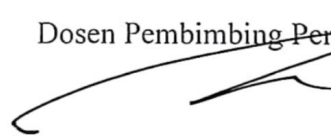
Demikian Berita Acara Bimbingan Tugas Akhir / Skripsi ini dibuat untuk diketahui dan dipergunakan seperlunya oleh pihak-pihak yang berkepentingan.

Dosen Pembimbing Utama



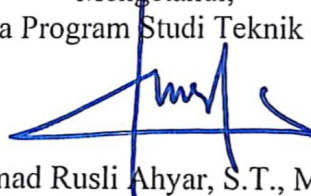
Ir. H. Rachmat Mudiyo, M.T., Ph.D.

Dosen Pembimbing Pendamping



Dr. Ir. H. Kartono Wibowo, M.M., M.T.

Mengetahui,
Ketua Program Studi Teknik Sipil



Muhamad Rusli Ahyar, S.T., M.Eng.

PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI

Saya yang bertanda tangan di bawah ini :

NAMA : Danang Ferdian

NIM : 30202100269

NAMA : Fachrul Ramadhan

NIM : 30202100270

dengan ini menyatakan bahwa Tugas Akhir yang berjudul :

“Analisa Kinerja Pada Simpang Bersinyal Menggunakan Metode MKJI 1997 (Studi Kasus: Simpang Empat Jati Raya, Banyumanik, Semarang, Jawa Tengah)”

benar bebas dari plagiat, dan apabila pernyataan ini terbukti tidak benar maka saya bersedia menerima sanksi sesuai ketentuan yang berlaku.

Demikian surat pernyataan ini saya buat untuk dipergunakan sebagaimana mestinya.

Semarang, 7 Agustus 2023

Yang membuat pernyataan 1,

Yang membuat pernyataan 2,



10000
METERAI TEMPEL
BEE8EAKX448682111

Danang Ferdian
NIM : 30202100269



10000
METERAI TEMPEL
565AKX448682113

Fachrul Ramadhan
NIM : 30202100270

PERNYATAAN KEASLIAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

NAMA : Danang Ferdian
NIM : 30202100269
NAMA : Fachrul Ramadhan
NIM : 30202100270
JUDUL TUGAS AKHIR : Analisa Kinerja Pada Simpang Bersinyal
Menggunakan Metode MKJI 1997 (Studi Kasus:
Simpang Empat Jati Raya, Banyumanik, Semarang,
Jawa Tengah)

Menyatakan dengan sesungguhnya bahwa Tugas Akhir ini merupakan hasil penelitian, pemikiran dan pemaparan asli saya sendiri. Saya tidak mencantumkan tanpa pengakuan bahan-bahan yang telah dipublikasikan sebelumnya atau ditulis oleh orang lain, atau sebagai bahan yang pernah diajukan untuk gelar atau ijasah pada Universitas Islam Sultan Agung Semarang atau perguruan tinggi lainnya.

Apabila dikemudian hari terdapat penyimpangan dan ketidakbenaran dalam pernyataan ini, maka saya bersedia menerima sanksi akademik sesuai dengan peraturan yang berlaku di Universitas Islam Sultan Agung Semarang.

Demikian pernyataan ini saya buat.

Semarang, 7 Agustus 2023

Yang membuat pernyataan 1,

Yang membuat pernyataan 2.



Danang Ferdian
NIM : 30202100269



Fachrul Ramadhan
NIM : 30202100270

MOTTO

“Bismillah Membangun Generasi Khaira Ummah”

كُنْتُمْ خَيْرَ أُمَّةٍ أُخْرِجَتْ لِلنَّاسِ تَأْمُرُونَ بِالْمَعْرُوفِ وَتَنْهَوْنَ عَنِ الْمُنْكَرِ وَتُؤْمِنُونَ بِاللَّهِ وَلَوْ آمَنَ أَهْلُ الْكِتَابِ لَكَانَ خَيْرًا لَهُمْ مِنْهُمُ الْمُؤْمِنُونَ وَأَكْثَرُهُمُ الْفَاسِقُونَ ﴿١١٠﴾

“Kamu (umat Islam) adalah umat terbaik yang dilahirkan untuk manusia, (karena kamu) menyuruh (berbuat) yang makruf, dan mencegah dari yang mungkar, dan beriman kepada Allah. Sekiranya Ahli Kitab beriman, tentulah itu lebih baik bagi mereka. Di antara mereka ada yang beriman, namun kebanyakan mereka adalah orang-orang fasik.” (Q.S. Al-Imran: 110)



PERSEMBAHAN

Puji Syukur ke hadirat Allah SWT. atas segala rahmat dan hidayah-Nya, sehingga Tugas Akhir dengan judul “Analisa Kinerja Pada Simpang Bersinyal Menggunakan Metode MKJI 1997 (Studi Kasus: Simpang Empat Jati Raya, Banyumanik, Semarang, Jawa Tengah)” dapat terselesaikan. Segala ungkapan terima kasih saya ucapkan dan saya persembahkan kepada :

1. Kedua orang tua saya, Susono dan Jumatia atas doa, semangat, dan motivasinya hingga saya berada pada titik kehidupan sekarang ini.
2. Ir. H. Rachmat Mudiyo, M.T., Ph.D. dan Dr. Ir. H. Kartono Wibowo, M.M., M.T. sebagai Dosen Pembimbing yang telah memberi waktu dan pengarahan dengan sabar, sehingga Tugas Akhir ini dapat terselesaikan dengan baik.
3. Seluruh Dosen Teknik Sipil Universitas Sultan Agung Semarang yang telah memberi curahan ilmu yang bermanfaat.
4. Teman-teman seperjuangan Kelas Sore Transfer Teknik Sipil.
5. Teman-teman Kelas Sore Transfer Teknik Sipil yang telah memberikan dukungan dan doanya.
6. Semua pihak yang telah membantu selama penulisan Laporan Tugas Akhir ini sampai selesai yang tidak bisa disebutkan satu per satu.

Danang Ferdian
NIM : 30202100269

PERSEMBAHAN

Puji Syukur ke hadirat Allah SWT. atas segala rahmat dan hidayah-Nya, sehingga Tugas Akhir dengan judul “Analisa Kinerja Pada Simpang Bersinyal Menggunakan Metode MKJI 1997 (Studi Kasus: Simpang Empat Jati Raya, Banyumanik, Semarang, Jawa Tengah)” dapat terselesaikan. Segala ungkapan terima kasih saya ucapkan dan saya persembahkan kepada :

1. Kedua orang tua saya, Achmadi dan Sri Wahyuni atas doa, semangat, dan motivasinya hingga saya berada pada titik kehidupan sekarang ini.
2. Ir. H. Rachmat Mudiyo, M.T., Ph.D. dan Dr. Ir. H. Kartono Wibowo, M.M., M.T. sebagai Dosen Pembimbing yang telah memberi waktu dan pengarahan dengan sabar, sehingga Tugas Akhir ini dapat terselesaikan dengan baik.
3. Seluruh Dosen Teknik Sipil Universitas Sultan Agung Semarang yang telah memberi curahan ilmu yang bermanfaat.
4. Teman-teman seperjuangan Kelas Sore Transfer Teknik Sipil.
5. Teman-teman Kelas Sore Transfer Teknik Sipil yang telah memberikan dukungan dan doanya.
6. Semua pihak yang telah membantu selama penulisan Laporan Tugas Akhir ini sampai selesai yang tidak bisa disebutkan satu per satu.

Fachrul Ramadhan
NIM : 30202100270

KATA PENGANTAR

Segala Puji dan syukur penulis panjatkan ke hadirat Allah SWT. yang telah melimpahkan segala rahmat-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir dengan judul “Analisa Kinerja Pada Simpang Bersinyal Menggunakan Metode MKJI 1997 (Studi Kasus: Simpang Empat Jati Raya, Banyumanik, Semarang, Jawa Tengah)” guna memenuhi persyaratan dalam menyelesaikan Program Studi Teknik Sipil di Universitas Islam Sultan Agung Semarang.

Penulis menyadari kelemahan dan keterbatasan yang ada sehingga dalam menyusun Tugas Akhir ini memperoleh bantuan dari berbagai pihak, maka pada kesempatan ini, penulis hendak menyampaikan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Bapak Ir. H. Rachmat Mudiyo, M.T., Ph.D. selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Islam Sultan Agung dan juga Dosen Pembimbing yang selalu memberikan waktu bimbingan dan arahan selama penyusunan tugas akhir ini.
2. Bapak Muhamad Rusli Ahyar, S.T., M.Eng. selaku Ketua Program Studi Teknik Sipil Universitas Islam Sultan Agung.
3. Bapak Dr. Ir. H. Kartono Wibowo, M.M., M.T. selaku Dosen Pembimbing yang selalu memberikan waktu bimbingan dan arahan selama penyusunan tugas akhir ini.
4. Seluruh dosen, staf, dan karyawan Program Studi Teknik Fakultas Teknik Sipil Universitas Islam Sultan Agung.
5. Kedua orang tua yang telah memberikan doa dan motivasi.
6. Semua pihak yang telah membantu dalam penyelesaian Tugas Akhir ini yang tidak dapat kami sebutkan satu per satu.

Penulis menyadari bahwa Tugas Akhir ini masih banyak kekurangan baik isi maupun susunannya. Semoga Tugas Akhir ini dapat bermanfaat tidak hanya bagi penulis juga bagi para pembaca.

Semarang, Agustus 2023

Penulis

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL.....	i
HALAMAN PENGESAHAN.....	ii
BERITA ACARA BIMBINGAN TUGAS AKHIR	iii
PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI	iv
PERNYATAAN KEASLIAN.....	v
MOTTO	vi
PERSEMBAHAN.....	vii
KATA PENGANTAR	ix
DAFTAR ISI.....	x
DAFTAR TABEL.....	xiii
DAFTAR GAMBAR	xiv
ABSTRAK	xv
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Perumusan Masalah	2
1.3. Maksud dan Tujuan.....	2
1.4. Pembatasan Masalah	3
1.5. Manfaat Penelitian	4
1.6. Keaslian Tugas Akhir.....	4
1.7. Sistematika Penulisan	6
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	7
2.1. Definisi Simpang (<i>Intersection</i>).....	7
2.1.1. Jenis-Jenis Persimpangan	8
2.1.1.1. Persimpangan Sebidang	8
2.1.1.2. Persimpangan Tidak Sebidang.....	9
2.1.2. Karakteristik Lalu Lintas	12
2.1.2.1. Arus Lalu Lintas	12
2.1.2.2. Kepadatan	12
2.1.2.3. Kecepatan.....	13
2.1.3. Konflik Lalu Lintas.....	13
2.1.3.1. Konflik Utama	14
2.1.3.2. Konflik Kedua.....	14
2.1.4. Pengaturan Fase	14
2.1.4.1. Dua Fase Existing	14
2.1.4.2. Tiga Fase	15
2.1.4.3. Tiga Fase dengan Early Start	15
2.1.4.4. Tiga Fase dengan Early Cut Off	15
2.1.4.5. Empat Fase.....	15
2.2. Kinerja Simpang Bersinyal	16
2.2.1. Kapasitas dan Derajat Kejenuhan.....	16
2.2.2. Sinyal Lalu Lintas.....	16
2.2.3. Geometrik Persimpangan.....	18
2.2.4. Kondisi Arus Lalu Lintas.....	19
2.2.5. Karakteristik Sinyal Dan Pergerakan Lalu Lintas	20
2.2.5.1. Penggunaan Sinyal.....	20

2.2.5.2. Penentuan Waktu Sinyal	23
2.2.5.3. Arus Jenuh	24
2.2.5.4. Rasio Arus.....	27
2.3. Faktor Kesesuaian	27
2.3.1. Faktor Kesesuaian Ukuran Kota (F_{CS}).....	27
2.3.2. Faktor Kesesuaian Hambatan Samping (F_{SF})	28
2.3.3. Faktor Kesesuaian Kelandaian (F_G).....	28
2.3.4. Faktor Kesesuaian Parkir (F_P).....	29
2.3.5. Faktor Kesesuaian Belok Kanan (F_{RT})	29
2.3.6. Faktor Kesesuaian Belok Kiri (F_{LT}).....	30
2.4. Waktu Siklus dan Waktu Hijau.....	30
2.4.1. Waktu Siklus Sebelum Kesesuaian	30
2.4.2. Waktu Hijau.....	31
2.4.3. Waktu Siklus yang Disesuaikan	32
2.5. Panjang Antrian dan Tundaan.....	32
2.5.1. Panjang Antrian	32
2.5.2. Kendaraan Terhenti	33
2.5.3. Tundaan	33
BAB III METODOLOGI.....	35
3.1. Garis Besar Metodologi Penelitian	35
3.2. Pengumpulan Data	36
3.2.1. Data Primer.....	36
3.2.2. Data Sekunder.....	36
3.3. Waktu Penelitian	36
3.4. Lokasi Penempatan Surveyor.....	36
3.5. Data Arus Lalu Lintas	37
3.6. Waktu Sinyal.....	40
3.7. Metode Analisa Data.....	40
BAB IV ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN	44
4.1. Data Masukan	44
4.1.1. Data Geometrik.....	44
4.1.2. Data Hasil Survei Lalu Lintas.....	44
4.2. Analisa Arus Lalu Lintas	44
4.2.1. Total Kendaraan Bermotor (MV)	47
4.2.2. Rasio Berbelok.....	49
4.2.3. Rasio Kendaraan Tak Bermotor	49
4.3. Penggunaan Sinyal.....	52
4.4. Penentuan Waktu Sinyal, Kapasitas, dan Derajat Kejenuhan.....	53
4.4.1. Arus Jenuh Dasar (S_o)	53
4.4.2. Faktor Kesesuaian.....	53
4.4.2.1. Faktor Kesesuaian Ukuran Kota (F_{CS}).....	53
4.4.2.2. Faktor Kesesuaian Hambatan Samping (F_{SF})	54
4.4.2.3. Faktor Kesesuaian Kelandaian (F_G).....	54
4.4.2.4. Faktor Kesesuaian Parkir (F_P).....	54
4.4.2.5. Faktor Kesesuaian Belok Kanan (F_{RT}).....	54
4.4.2.6. Faktor Kesesuaian Belok Kiri (F_{LT}).....	54
4.4.3. Nilai Arus Jenuh yang Disesuaikan (S)	55
4.4.4. Rasio Arus Jenuh (FR).....	55

4.4.5. Rasio Arus Persimpangan (IFR).....	55
4.4.6. Rasio Fase (PR)	56
4.4.7. Waktu Siklus (c) dan Waktu Hijau (g)	56
4.4.8. Kapasitas (C)	56
4.4.9. Derajat Kejenuhan (DS)	56
4.5. Panjang Antrian.....	57
4.5.1. Rasio Hijau (GR)	57
4.5.2. Jumlah Kendaraan Antri (NQ).....	58
4.5.3. NQmax.....	59
4.5.4. Panjang Antrian (QL)	60
4.6. Kendaraan Terhenti.....	60
4.6.1. Angka Henti (NS)	60
4.6.2. Jumlah Kendaraan Terhenti (N _{sv}).....	61
4.6.3. Kendaraan Terhenti Rata-rata.....	61
4.7. Tundaan.....	61
4.7.1. Tundaan Lalu Lintas Rata-rata (DT)	61
4.7.2. Tundaan Geometrik Rata-rata (DG)	62
4.7.3. Tundaan Rata-rata (D)	62
4.7.4. Tundaan Total (D _{tot}).....	62
4.7.5. Tundaan Simpang Rata-rata (D1)	63
4.8. Hasil Analisa Data	64
4.8.1. Hasil Karakteristik Lalu Lintas.....	64
4.8.2. Hasil Analisa Kinerja Simpang Bersinyal	64
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN.....	66
5.1. Kesimpulan	66
5.2. Saran.....	67
DAFTAR PUSTAKA	
LAMPIRAN	

DAFTAR TABEL

Tabel 1.1. Penelitian Terdahulu Terkait Persimpangan Bersinyal.....	4
Tabel 2.1. Nilai emp Sesuai Tipe Kendaraan Berdasar Pendekat.....	20
Tabel 2.2. Nilai Normal Waktu Antar Hijau.....	21
Tabel 2.3. Faktor Kesesuaian Ukuran Kota (Fcs)	27
Tabel 2.4. Faktor Kesesuaian Tipe Lingkungan, Hambatan Samping, dan Kendaraan Tidak Bermotor (F_{SF})	28
Tabel 2.5. Waktu Siklus yang Dianjurkan dalam Situasi Berbeda	31
Tabel 2.6. Hubungan Tundaan terhadap Tingkat Pelayanan	34
Tabel 3.1. Data Geometrik Simpang Jati Raya	37
Tabel 3.2. Data Hasil Survei Lalu Lintas	38
Tabel 3.3. Contoh Formulir SIG-I	41
Tabel 3.4. Contoh Formulir SIG-II	42
Tabel 3.5. Contoh Formulir SIG-III	42
Tabel 3.6. Contoh Formulir SIG-IV	43
Tabel 3.7. Contoh Formulir SIG-V	43
Tabel 4.1. Data Geometrik (SIG-I)	44
Tabel 4.2. Data Volume Kendaraan	45
Tabel 4.3. Analisa Arus Lalu Lintas (SIG-II)	51
Tabel 4.4. Waktu Siklus Tiap Fase (SIG-III)	53
Tabel 4.5. Penentuan Waktu Siklus, Kapasitas, Derajat Kejenuhan (SIG-IV)	57
Tabel 4.6. Panjang Antrian dan Tundaan (SIG-V)	63



DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1. Lokasi Penelitian Tugas Akhir	3
Gambar 1.2. Ruas Jalan di Lokasi Penelitian Tugas Akhir	3
Gambar 2.1. Beragam Bentuk Fisik Persimpangan Sebidang	9
Gambar 2.2. Berbagai Contoh Persimpangan Susun Jalan (dengan Jenis Persimpangan Jalan Tidak Sebidang)	10
Gambar 2.3. Arus Menggabung (<i>Merging</i>).....	10
Gambar 2.4. Arus Memisah (<i>Diverging</i>)	11
Gambar 2.5. Arus Memotong (<i>Crossing</i>)	11
Gambar 2.6. Arus Menyilang (<i>Weaving</i>)	11
Gambar 2.7. Konflik Utama dan Kedua pada Persimpangan Bersinyal	13
Gambar 2.8. Pengaturan Sinyal Dua Fase.....	14
Gambar 2.9. Pengaturan Sinyal Tiga Fase	15
Gambar 2.10. Pengaturan Sinyal Tiga Fase dengan <i>Early Start</i>	15
Gambar 2.11. Pengaturan Sinyal Tiga Fase dengan <i>Early Cut Off</i>	15
Gambar 2.12. Pengaturan Sinyal Empat Fase.....	15
Gambar 2.13. Geometrik Simpang dengan Sinyal Lalu Lintas	18
Gambar 2.14. Lebar Efektif Kaki Simpang	19
Gambar 2.15. Titik Konflik Kritis serta Jarak Berangkat dan Tiba.....	21
Gambar 2.16. Penerapan Dasar Arus Jenuh dan Waktu Hilang	23
Gambar 2.17. Pendekat Dengan atau Tidak Adanya Pulau Lalu Lintas.....	24
Gambar 2.18. Arus Jenuh Dasar bagi Pendekat Tipe P	25
Gambar 2.19. Bagi Pendekat Tipe O Tanpa Lajur Belok Kanan Terpisah.....	26
Gambar 2.20. Faktor Kesesuaian untuk Kelandaian (F_G)	28
Gambar 2.21. Faktor Kesesuaian Pengaruh Parkir dan Lajur Belok Kiri yang Pendek (F_P).....	29
Gambar 2.22. Faktor Kesesuaian untuk Pengaruh Belok Kanan (F_{RT}).....	29
Gambar 2.23. Faktor Kesesuaian untuk Pengaruh Belok Kiri (F_{LT}).....	30
Gambar 2.24. Penetapan Waktu Siklus Sebelum Kesesuaian.....	31
Gambar 2.25. Banyaknya Antri Kendaraan (smp) yang Tersisa dari Fase Hijau Sebelumnya (NQ_1).....	32
Gambar 2.26. Analisa Jumlah Antrian Rata-rata (NQ_{MAX})	33
Gambar 3.1. <i>Flowchart</i> Penelitian	35
Gambar 3.2. Denah Simpang Jati Raya dan Penempatan Surveyor	37
Gambar 3.3. Waktu Siklus Tiap Fase	40
Gambar 4.1. Pengaturan Fase Persimpangan Bersinyal Jati Raya.....	52

ANALISA KINERJA PADA SIMPANG BERSINYAL MENGGUNAKAN METODE MKJI 1997 (STUDI KASUS: SIMPANG EMPAT JATI RAYA, BANYUMANIK, SEMARANG, JAWA TENGAH)

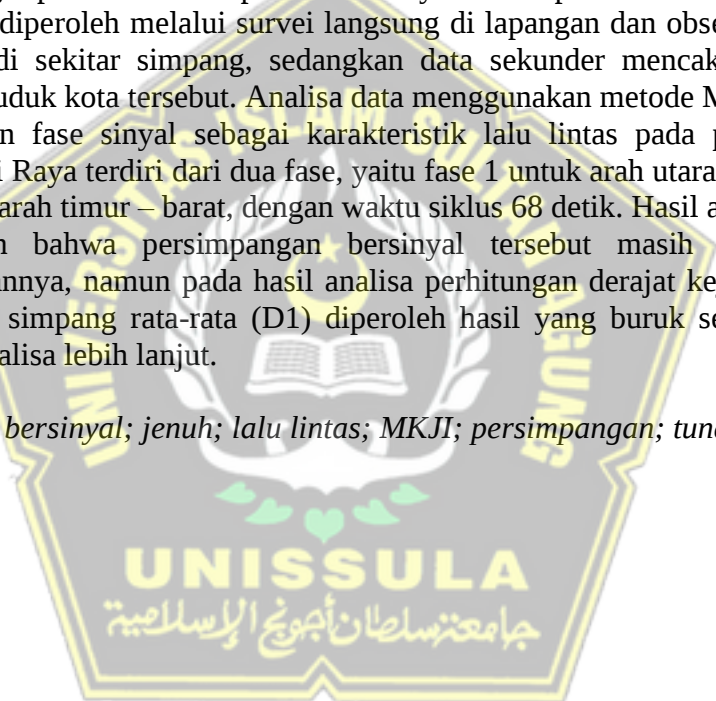
Abstrak

Laju pembangunan infrastruktur jalan raya salah satunya sangat dipengaruhi oleh sektor transportasi terutama di negara yang sedang berkembang layaknya Indonesia. Lokasi yang sering timbul kepadatan arus lalu lintas bahkan hingga menimbulkan kemacetan adalah persimpangan. Pada penelitian ini, studi analisa kinerja simpang dilakukan pada simpang empat Jati Raya, Banyumanik, Semarang, Jawa Tengah. Tujuan penelitian ini untuk memperoleh karakteristik lalu lintas dan hasil analisa kinerja persimpangan bersinyal.

Data yang diperlukan untuk penelitian ini yaitu data primer dan data sekunder. Data primer diperoleh melalui survei langsung di lapangan dan observasi kondisi lingkungan di sekitar simpang, sedangkan data sekunder mencakup informasi jumlah penduduk kota tersebut. Analisa data menggunakan metode MKJI 1997.

Pengaturan fase sinyal sebagai karakteristik lalu lintas pada persimpangan bersinyal Jati Raya terdiri dari dua fase, yaitu fase 1 untuk arah utara – selatan dan fase 2 untuk arah timur – barat, dengan waktu siklus 68 detik. Hasil analisa kinerja menunjukkan bahwa persimpangan bersinyal tersebut masih layak dalam pengoperasiannya, namun pada hasil analisa perhitungan derajat kejenuhan (DS) dan tundaan simpang rata-rata (D1) diperoleh hasil yang buruk sehingga perlu dilakukan analisa lebih lanjut.

Kata kunci: *bersinyal; jenuh; lalu lintas; MKJI; persimpangan; tundaan.*



**PERFORMANCE ANALYSIS ON SIGNALIZED INTERSECTION USING
MKJI 1997 METHOD (CASE STUDY: JATI RAYA FOUR INTERSECTION,
BANYUMANIK, SEMARANG, CENTRAL JAVA)**

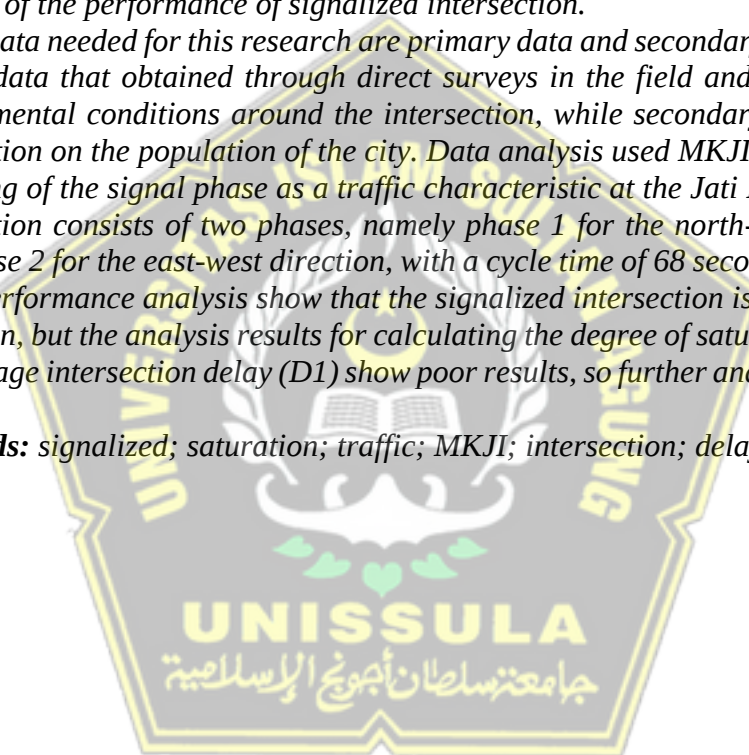
Abstract

The pace of road infrastructure development is heavily influenced by the transportation sector, especially in developing countries such as Indonesia. Locations where traffic congestion often occurs and even cause congestion are intersections. In this research, an analysis study of intersection performance was carried out at the Jati Raya four intersection, Banyumanik, Semarang, Central Java. The purpose of this research is to obtain traffic characteristics and results of analysis of the performance of signalized intersection.

The data needed for this research are primary data and secondary data. Primary data is data that obtained through direct surveys in the field and observation of environmental conditions around the intersection, while secondary data includes information on the population of the city. Data analysis used MKJI 1997 method.

Setting of the signal phase as a traffic characteristic at the Jati Raya signalized intersection consists of two phases, namely phase 1 for the north-south direction and phase 2 for the east-west direction, with a cycle time of 68 seconds. The results of the performance analysis show that the signalized intersection is still feasible in operation, but the analysis results for calculating the degree of saturation (DS) and the average intersection delay (D1) show poor results, so further analysis is needed.

Keywords: *signalized; saturation; traffic; MKJI; intersection; delay.*



BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Di Indonesia, laju pembangunan infrastruktur jalan raya sangat dipengaruhi oleh sektor transportasi. Transportasi dengan beragam jenis dan jumlahnya mendukung dalam aspek sosial, ekonomi, dan politik (Wicaksono dan Fathurochman, 2014). Menurut data Badan Pusat Statistik (BPS), dalam periode 2018-2020, angka pertumbuhan kepemilikan kendaraan di Indonesia yaitu mencapai 7,61% dari angka 126.508.776 unit menjadi 136.137.451 unit. Sedangkan menurut data Badan Perencanaan Pembangunan Nasional (Bappenas), perkembangan jalan yaitu 6,85% per tahunnya. Dari data di atas, dipahami bahwa pertumbuhan kendaraan bermotor lebih pesat dari pertambahan kapasitas jalan yang menjadi salah satu faktor terjadinya kepadatan arus lalu lintas.

Lokasi yang sering terjadi kepadatan arus lalu lintas bahkan hingga menimbulkan kemacetan adalah persimpangan. Persimpangan jalan yaitu area pertemuan antara dua atau lebih ruas jalan. Peran utama persimpangan jalan adalah guna menjamin kelancaran arus lalu lintas, namun pada kenyataannya masih banyak terjadi kemacetan di lokasi tertentu karena adanya peningkatan volume kendaraan tanpa diimbangi perkembangan kapasitas jalan (Pratama, 2011).

Di Kota Semarang terdapat banyak simpang dengan kepadatan yang tinggi di jam-jam sibuk, salah satunya simpang empat Jati Raya. Pada simpang Jati Raya, memiliki empat lengan yaitu Jalan Tusam Raya, Jalan Kanfer Raya, Jalan Cemara Raya, dan Jalan Jati Raya. Keempat ruas jalan memiliki tipe jalan 2/1 UD.

Permasalahan yang dijumpai di simpang Jati Raya yaitu dipicu oleh banyaknya ragam aktivitas dan tingginya volume kendaraan pada jam-jam sibuk yang menimbulkan antrian panjang kendaraan. Sinyal lalu lintas yang beroperasi di simpang Jati Raya masih belum bisa mengurai kemacetan pada jam-jam sibuk, seperti pada 07.00 – 08.00 WIB yang mana pada jam tersebut masyarakat mulai melangsungkan kegiatan dan 15.00 – 17.00 WIB yang merupakan jam pulang kerja. Kondisi kemacetan pada simpang Jati Raya juga ditambah dengan kondisi ruas

jalan pada simpang Jati Raya yang cenderung kurang lebar. Selain itu, di dekat simpang Jati Raya, terdapat sekolah SMA Negeri 9 Semarang dan tempat ibadah Masjid Raya Al-Muhajirin sehingga menambah kemacetan karena masyarakat cenderung menurunkan laju kecepatan kendaraannya. Pengaturan fase pada sinyal lalu lintas yang hanya terdiri dari dua fase juga menimbulkan terjadinya arus *crossing*, yang mana ini menjadikan arus lalu lintas terlihat tidak beraturan.

Peneliti memilih judul ini untuk mendalami lebih lanjut perihal analisa persimpangan bersinyal, khususnya di Simpang Empat Jati Raya dalam suatu karya ilmiah yang tertuang dalam penelitian yang berjudul “Analisa Kinerja Pada Simpang Bersinyal Menggunakan Metode MKJI 1997 (Studi Kasus: Simpang Empat Jati Raya, Banyumanik, Semarang, Jawa Tengah)” untuk mengetahui nilai arus lalu lintas, kapasitas jalan, derajat kejenuhan, dan panjang antrian yang terjadi di lokasi tersebut.

1.2. Perumusan Masalah

Berdasarkan informasi sebelumnya, maka perumusan masalah dari penelitian Tugas Akhir ini dapat diuraikan sebagai berikut:

- 1) Bagaimana karakteristik lalu lintas di persimpangan bersinyal Jati Raya?
- 2) Bagaimana hasil analisa kinerja persimpangan bersinyal Jati Raya mengacu pada karakteristik lalu lintas yang didapat?

1.3. Maksud dan Tujuan

Tugas Akhir ini bertujuan mengidentifikasi karakteristik persimpangan bersinyal Jati Raya guna menilai tingkat kemacetan dan kapasitas jalan pada ruas tersebut. Dengan demikian setelah permasalahannya teridentifikasi, harapannya penelitian ini bisa memperoleh solusi yang efektif guna meminimalisir masalah tersebut.

Tujuan dilakukannya penelitian Tugas Akhir ini, meliputi:

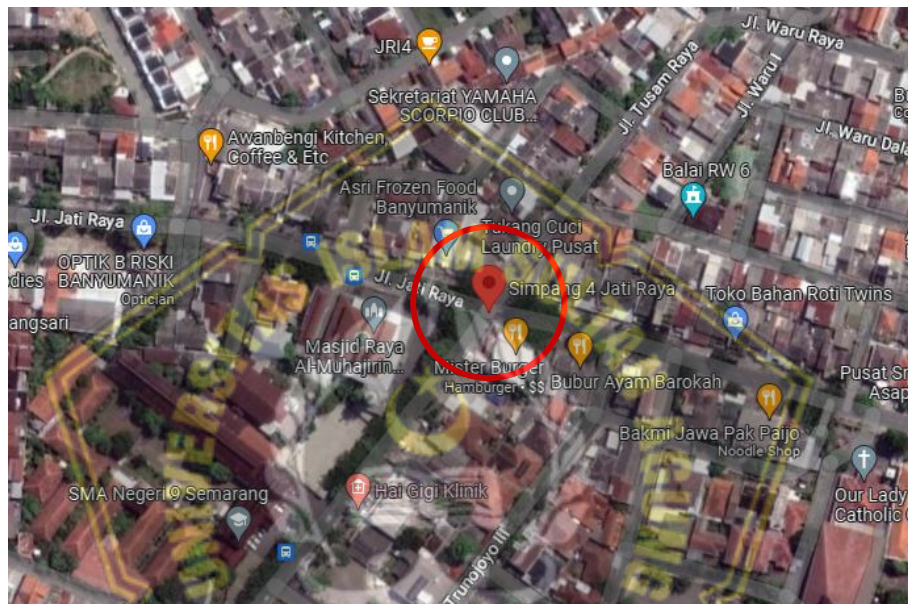
- 1) Memperoleh karakteristik-karakteristik lalu lintas di persimpangan bersinyal Jati Raya, meliputi kondisi geometrik dan arus lalu lintas.
- 2) Memperoleh hasil analisa kinerja persimpangan bersinyal Jati Raya mengacu pada karakteristik lalu lintas yang didapat, meliputi fase sinyal, arus jenuh, kapasitas, derajat kejenuhan, panjang antrian, dan tundaan.

1.4. Pembatasan Masalah

Penelitian Tugas Akhir ini mempunyai pembatasan masalah, meliputi:

- 1) Arus lalu lintas berdasarkan survei lapangan yang dilaksanakan pada jam sibuk.
- 2) Indikator yang masuk dalam analisa perhitungan kinerja persimpangan bersinyal, meliputi fase sinyal, arus jenuh, kapasitas, derajat kejenuhan, panjang antrian, dan tundaan.

Penelitian berlokasi di persimpangan bersinyal Jati Raya. Titik lokasi penelitian ditunjukkan pada Gambar 1.1. dan Gambar 1.2. berikut ini.



Gambar 1.1. Lokasi Penelitian Tugas Akhir



Gambar 1.2. Ruas Jalan di Lokasi Penelitian Tugas Akhir

1.5. Manfaat Penelitian

Adapun penelitian Tugas Akhir ini diharapkan membuahkan manfaat, antara lain:

1) Manfaat Pengembangan Ilmu Pengetahuan

Dapat memberikan kontribusi pada pengembangan ilmu pengetahuan tentang transportasi, khususnya dalam aspek arus kendaraan di persimpangan bersinyal.

2) Manfaat Praktis

Dapat menjadi rekomendasi yang bermanfaat bagi pengelolaan arus kendaraan di sepanjang persimpangan bersinyal, sehingga dapat diaplikasikan secara praktis untuk meningkatkan kinerja dan mengatasi masalah lalu lintas.

1.6. Keaslian Tugas Akhir

Berdasarkan hasil penelusuran kepustakaan yang telah ada sebelumnya menyangkut persimpangan bersinyal, peneliti menemukan beberapa karya ilmiah yang berkaitan ditunjukkan pada Tabel 1.1.

Tabel 1.1. Penelitian Terdahulu Terkait Persimpangan Bersinyal

No.	Judul	Penulis	Metode	Hasil
1.	Analisis Kinerja Simpang Bersinyal (Studi Kasus Simpang Mitra Batik Kota Tasikmalaya) (2019)	R. Wildan Adri P., Nina Herlina, Asep Kurnia Hidayat	Pengumpulan data (data primer dan sekunder) dan analisa data (dengan metode MKJI 1997).	Volume maksimum, derajat kejenuhan, panjang antrian, waktu siklus.
2.	Analisa Kapasitas dan Tingkat Kinerja Simpang Bersinyal (Studi Kasus Simpang Tiga Purwosari Kabupaten Pasuruan) (2016)	Muhammad Syaikh, Esti Widodo	Pengumpulan data (data primer dan sekunder) dan analisa data (dengan metode MKJI 1997).	Besaran kapasitas dan tingkat kinerja simpang bersinyal (waktu siklus, derajat kejenuhan, dan rerata tundaan).
3.	Analisis Simpang Bersinyal Pada Simpang Uluwatu, Badung, Bali (2021)	I Pande Made Andika Mulyana Putra, Dewa Ayu Nyoman Sriastuti, Anak Agung Sagung Dewi Rahadiani	Pengumpulan data (survei volume lalu lintas, survei kondisi geometrik persimpangan, dan survei tata guna lahan) dan analisa data (dengan metode MKJI 1997).	Tingkat pelayanan pada persimpangan untuk derajat kejenuhan (DS) dan analisis kinerja simpang.

4.	Analisis Kinerja Simpang Empat Bersinyal Segmen Jalan Soekarno Hatta Depan SPBU Pertamina Masjid Agung Semarang (2022)	Wijaya Rangga Saputra, Wisnu Adi Irawan	Pengumpulan data (data primer dan sekunder) dan analisa data (dengan metode MKJI 1997).	Kinerja simpang, derajat kejenuhan tundaan, dan pertumbuhan lalu lintas.
5.	Analisa Kinerja Pada Simpang Bersinyal Menggunakan Metode MKJI 1997 (Studi Kasus: Simpang Jolotundo, Kota Semarang, Jawa Tengah) (2022)	Eksa Nurdin Rulianto, Aldyan Adjie Saputra	Pengumpulan data (data primer dan sekunder) dan analisa data (kuantitatif dengan metode MKJI 1997).	Volume kendaraan, arus lalu lintas, waktu siklus, derajat kejenuhan, panjang antrian kendaraan, dan kapasitas jalan.
6.	Evaluasi Kinerja Simpang Bersinyal Pada Simpang Jalan Pattimura – Simpang Jalan Sudirman Kota Medan (Studi Kasus) (2018)	Yolla Syafutri	Pengumpulan data (data primer dan sekunder) dan analisa data (dengan metode MKJI 1997).	Karakteristik lalu lintas (volume dan arus lalu lintas, kecepatan, kepadatan, siklus sinyal) dan kinerja simpang dengan metode MKJI 1997 (derajat kejenuhan, kapasitas, panjang antrian, dan tundaan)

Pentingnya keaslian dalam Tugas Akhir untuk menjamin bahwa penelitian ini tidak mengandung plagiarisme dengan penelitian sebelumnya yang sudah ada. Sejauh ini, penelitian terhadap analisa kinerja persimpangan bersinyal (Studi Kasus: Simpang Empat Jati Raya, Banyumanik, Semarang, Jawa Tengah) belum pernah dilakukan sebelumnya. Keaslian penelitian ini teridentifikasi pada lokasi penelitian tersebut, yang mana kondisinya akan berbeda dengan kondisi simpang di lokasi penelitian sebelumnya yang sudah ada.

Penerapan metode penelitian Tugas Akhir ini mempunyai kesamaan dengan penelitian terdahulu yaitu terdiri dari tahap pengumpulan data, tahap analisa data, serta tahap hasil dan kesimpulan penelitian. Selain itu dari tabel di atas, yang menjadi kesamaan yaitu menggunakan metode MKJI 1997 analisa persimpangan

bersinyal. Metode digunakan untuk memperoleh karakteristik lalu lintas (mencakup kondisi geometrik dan arus lalu lintas) dan hasil analisa kinerja persimpangan bersinyal (mencakup fase sinyal, arus jenuh, kapasitas, derajat kejenuhan, panjang antrian, dan tundaan).

1.7. Sistematika Penulisan

Pembuatan Tugas Akhir ini terdiri dari beberapa bab, sebagai berikut:

BAB I: PENDAHULUAN

Dalam bab ini mencakup penyusunan laporan tugas akhir dengan sub bab meliputi latar belakang, perumusan masalah, maksud dan tujuan, pembatasan masalah, manfaat penelitian, keaslian tugas akhir, serta sistematika penulisan.

BAB II: TINJAUAN PUSTAKA

Dalam bab ini mencakup tinjauan pustaka yang diuraikan tentang pembahasan umum serta teori-teori yang berkaitan terhadap obyek yang diteliti.

BAB III: METODOLOGI

Dalam bab ini mencakup penjelasan tentang cakupan metode survei dan analisa data yang digunakan untuk mengolah data serta langkah-langkah penelitian. Selain itu juga meliputi ekstraksi data berdasarkan pengambilan data primer dan sekunder. Data primer meliputi survei yang dilakukan langsung melalui studi lapangan, sedangkan data sekunder berasal dari instansi pemerintah, khususnya data kependudukan.

BAB IV: ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN

Dalam bab ini mencakup analisa data dan pembahasan. Pembahasan dilakukan berdasarkan analisa perhitungan sesuai dengan batasan yang telah ditentukan dan mengacu studi literatur yang ada.

BAB V: KESIMPULAN DAN SARAN

Dalam bab ini berisi kesimpulan dan saran pembahasan tugas akhir ini.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Definisi Simpang (*Intersection*)

Simpang dapat dimaknai sebagai area dimana dua atau lebih ruas jalan bertemu, bergabung, berpotongan, atau bersilangan. Ini juga merupakan tempat perpotongan antara dua jalan atau lebih. Perpotongan jalan-jalan tersebut bisa berada pada satu tingkat yang sama (sebidang) atau pada tingkat yang berbeda (tidak sebidang). Arus kendaraan di sepanjang persimpangan menjadi titik jaringan jalan di mana beberapa jalan yang bertemu serta jalur jalan yang terjadi perpotongan (Morlok, 1991).

Diterapkannya pengaturan lalu lintas di area persimpangan menjadi komponen yang terpenting untuk pergerakan lalu lintas. Di area persimpangan yang memiliki arus lalu lintas yang cukup padat, sangat perlu untuk digunakan sinyal lalu lintas dalam pengaturan lalu lintasnya. Pengaturan menggunakan sinyal lalu lintas diharapkan mampu mengatur kepadatan arus lalu lintas. (Syafutri, 2018).

Identifikasi masalah menunjukkan bahwa titik lokasi kemacetan berada pada persimpangan. Masalah-masalah yang sering menyebabkan gangguan pada persimpangan (Syafutri, 2018), antara lain:

- a) Desain kondisi geometrik dan visibilitas jalan.
- b) Pengaturan lampu sinyal.
- c) Perilaku arus lalu lintas serta panjang antrian.
- d) Kapasitas dan volume kendaraan.
- e) Kecepatan.
- f) Kecelakaan dan aspek keselamatan.
- g) Parkir.

Guna mengurangi kemungkinan terjadinya titik konflik, penting untuk melakukan pemisahan waktu dalam pergerakan arus lalu lintas. Pemisahan tersebut biasa disebut fase. Fase dapat mengatur pergerakan arus lalu lintas dengan cara meminimalisir adanya konflik yang ditimbulkan, sehingga didapatkan pengaturan lalu lintas yang dapat mengurangi besarnya angka panjang antrian, tundaan, dan kemacetan (Syafutri, 2018).

2.1.1. Jenis-Jenis Persimpangan

Menurut Morlok (1991), persimpangan diidentifikasi berdasarkan karakteristik tertentu yang membedakannya menjadi dua jenis, yaitu persimpangan sebidang dan tidak sebidang.

2.1.1.1. Persimpangan Sebidang

Persimpangan sebidang dapat didefinisikan sebagai persimpangan yang mana berbagai jalan atau ujung jalan yang bertemu di persimpangan menuntun arus kendaraan untuk berpotongan secara horizontal. Terdapat dua jenis yang dibedakan dari fasilitas pengatur arus kendaraannya (Morlok, 1991), yaitu:

1) Persimpangan bersinyal (*signalized intersection*)

merupakan suatu tempat dimana pergerakan arus lalu lintas tiap ruas jalan/lajur yang saling bertemu dan dikoordinasikan oleh sinyal lalu lintas agar dapat melintasi persimpangan tersebut secara bergiliran.

2) Persimpangan tak bersinyal (*unsignalized intersection*)

merupakan sebuah persimpangan jalan tanpa adanya sinyal lalu lintas.

Persimpangan jalan yang sering dilihat di sekitar kita adalah persimpangan sebidang. Persimpangan ini berdasarkan bentuk fisiknya dapat dibagi kembali dalam beberapa macam, yaitu:

1) Bercabang tiga

Merupakan persimpangan bercabang tiga yang memiliki bentuk dasar “Y” maupun “T” yang pada dasarnya serupa, tetapi yang membedakan yaitu besar sudut pertemuannya. Apabila jumlah arus kendaraan yang berbelok cukup besar, maka situasi tersebut dapat diselesaikan dengan menambahkan lajur. Pemisahan lajur dapat dilakukan melalui pembuatan pulau-pulau jalan yang memiliki fungsi ganda. Pulau-pulau jalan tersebut tidak hanya berfungsi sebagai pemisah lajur, tetapi juga membantu mengurangi luas jalan beraspal yang tidak digunakan oleh kendaraan. Selain itu juga dapat digunakan sebagai lokasi berlindung bagi penyeberang jalan dan lokasi adanya rambu-rambu lalu lintas sebagai pengatur persimpangan.

2) Bercabang empat

Merupakan simpang bercabang empat yang sebagai tempat pertemuan jalan yang paling sederhana. Pada arus kendaraan di sepanjang persimpangan empat

dengan penambahan lajur, penambahan lajur tersebut dapat dilakukan secara sejajar atau menyempit, tergantung pada volume arus kendaraan yang melewati lalu lintas di persimpangan tersebut. Pemisahan jalur pada pertemuan tersebut dapat diatur dengan pembuatan pulau-pulau jalan.

3) Bercabang banyak

Pada umumnya persimpangan bercabang banyak bukanlah istilah khusus, tetapi dapat merujuk pada situasi dimana terdapat lebih dari empat jalan atau jalur yang bertemu di area tertentu. Para pengemudi biasanya menghindari persimpangan dengan banyak cabang karena sering terjadinya kemacetan pada persimpangan tersebut, kecuali sangat kecilnya arus lalu lintas sehingga tak terjadi kemacetan.

4) Bundaran

Bundaran pada simpang merupakan suatu bentuk persimpangan jalan di mana beberapa jalan bertemu dalam sebuah lingkaran. Dikenal juga dengan sebutan *roundabout*, *traffic circle*, atau *rotary*. Di tengah-tengah bundaran biasanya terdapat sebuah pulau hijau atau monumen.



Gambar 2.1. Beragam Bentuk Fisik Persimpangan Sebidang

2.1.1.2. Persimpangan Tidak Sebidang

Persimpangan tak sebidang merupakan bentuk tertentu dari pertemuan jalan yang dapat menjadi solusi efektif untuk mengatasi masalah di persimpangan sebidang. Perbedaannya terletak pada adanya setidaknya satu hubungan langsung antara pertemuan jalan di persimpangan tersebut. (Morlok, 1991).

Menurut MKJI 1997, Persimpangan tidak sebidang mempertimbangkan beberapa faktor penting, termasuk arus lalu lintas, kecepatan yang direncanakan, klasifikasi jalan, topografi wilayah, pertimbangan aspek ekonomis, serta keselamatan dan keamanan. Jenis persimpangan ini memerlukan area yang luas, dan penempatan serta tata letaknya sangat tergantung pada kondisi topografi wilayah yang bersangkutan. Berikut ini merupakan contoh bentuk dari arus kendaraan di persimpangan susun yang disajikan dengan tampilan berikut ini.

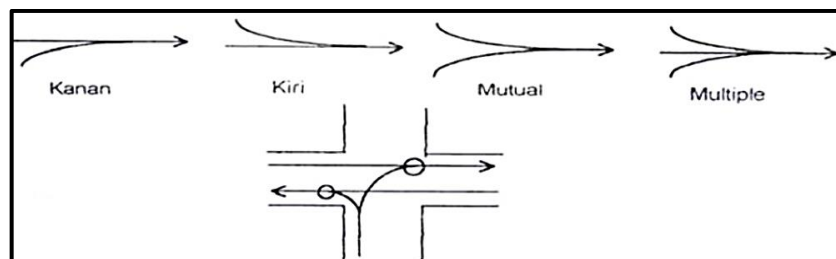


Gambar 2.2. Berbagai Contoh Persimpangan Susun Jalan
(dengan Jenis Persimpangan Jalan Tidak Sebidang)

Pergerakan arus lalu lintas di persimpangan sering menimbulkan situasi konflik yang berpotensi menyebabkan tabrakan. Pada dasarnya, pergerakan kendaraan dapat dikelompokkan menjadi empat jenis (Morlok, 1991), yaitu:

1) *Merging* (menggabung)

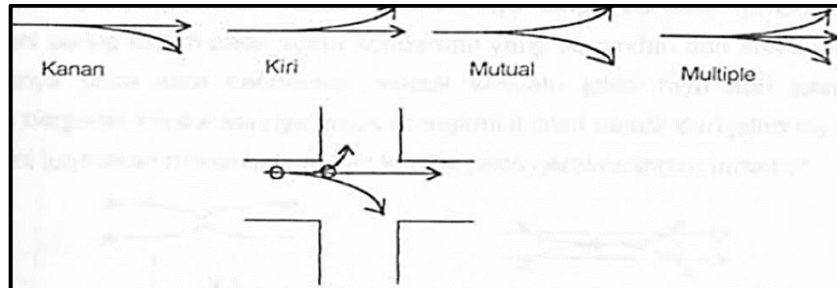
Merging merupakan proses penggabungan yang melibatkan kendaraan dari satu lajur berpindah ke lajur lainnya. *Merging* ditunjukkan pada gambar di bawah ini.



Gambar 2.3. Arus Menggabung (*Merging*)

2) *Diverging* (memisah)

Diverging biasanya mengacu pada pergerakan lalu lintas dimana kendaraan menjauh satu sama lain atau menyimpang ke jalur yang terpisah. Ini dapat terjadi dalam beberapa situasi lalu lintas yang berbeda.



Gambar 2.4. Arus Memisah (*Diverging*)

3) *Crossing* (memotong)

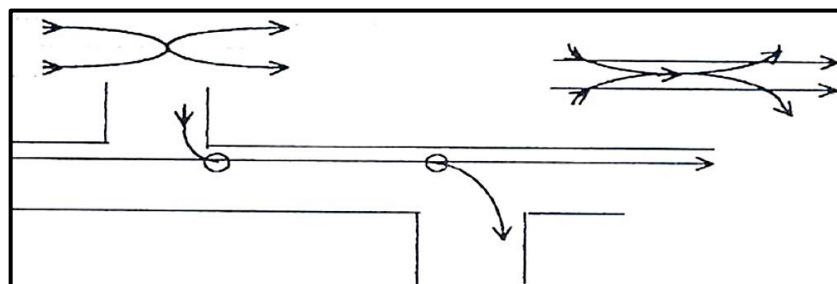
Crossing adalah ketika terjadi perpotongan arus lalu lintas dimana pengemudi tiba-tiba berpindah jalur atau bergabung dengan lalu lintas di depan kendaraan lain, yang mana akan timbul titik konflik pada simpang. Arus memotong (*crossing*) ditunjukkan pada gambar berikut.



Gambar 2.5. Arus Memotong (*Crossing*)

4) *Weaving* (menyilang)

Weaving yaitu ketika pengemudi sering berpindah jalur, baik untuk berpapasan dengan kendaraan lain maupun untuk keluar dari jalan raya atau jalan raya. Arus menyilang (*weaving*) ditunjukkan pada gambar berikut.



Gambar 2.6. Arus Menyilang (*Weaving*)

2.1.2. Karakteristik Lalu Lintas

2.1.2.1. Arus Lalu Lintas

Arus lalu lintas didefinisikan sebagai banyaknya unsur lalu lintas yang melintasi titik tertentu pada persimpangan atau jalan per satuan waktu, memiliki satuan kendaraan/jam (Q_{kend}) maupun smp/jam (Q_{smp}) (MKJI, 1997). Arus lalu lintas dapat dianalisa menggunakan rumus dasar (Morlok, 1991) yaitu:

$$q = \frac{n}{t} \dots\dots\dots (2.1)$$

q = arus lalu lintas yang melalui suatu titik

n = jumlah kendaraan yang melalui titik itu dalam interval waktu pengamatan.

t = interval waktu pengamatan.

Jenis kendaraan di arus lalu lintas dibedakan menjadi empat (MKJI, 1997), yaitu:

1) Kendaraan ringan / *Light Vehicle* (LV)

Mencakup kendaraan bermotor bersumbu dua yang mempunyai empat roda dan dengan jarak sumbu roda 2,0 - 3,0 meter (seperti mobil penumpang, angkutan umum, pick-up, bis kecil, truk kecil mengacu jenis pengelompokan Bina Marga).

2) Kendaraan berat / *Heavy Vehicle* (HV)

Mencakup kendaraan bermotor yang mempunyai lebih dari empat roda (truk 2 atau 3 sumbu, truk kombinasi, bis mengacu jenis pengelompokan Bina Marga).

3) Sepeda motor / *Motor Cycle* (MC)

Mencakup kendaraan bermotor yang jumlah rodanya dua atau tiga (seperti sepeda motor dan kendaraan roda tiga mengacu pengelompokan Bina Marga).

4) Kendaraan tidak bermotor / *Un Motorized* (UM)

Mencakup kendaraan beroda yang bertenaga hewan, manusia, dan sebagainya (becak, sepeda, kereta kuda mengacu jenis pengelompokan Bina Marga).

2.1.2.2. Kepadatan

Kepadatan yaitu jumlah rerata unsur lalu lintas per satuan panjang jalan dalam periode tertentu. Kepadatan dihitung menggunakan rumus (Morlok, 1991) berikut:

$$K = \frac{n}{L} \dots\dots\dots (2.2)$$

K = kepadatan (kend/km)

n = jumlah kendaraan di jalan (kend)

L = panjang jalan (km)

2.1.2.3. Kecepatan

Sebuah ukuran yang menunjukkan seberapa jauh kendaraan dapat bergerak dalam periode waktu tertentu disebut juga kecepatan. Kecepatan dapat diukur dalam beberapa cara, seperti kecepatan titik, ruang, gerak, dan perjalanan. Di sisi lain, kelambatan merujuk pada periode yang terbuang ketika kendaraan berhenti maupun tak mampu melaju selaras dengan kecepatan yang diharapkan karena terdampak oleh hambatan lalu lintas seperti kemacetan. Dalam menghitung kecepatan, rumus yang digunakan (Morlok, 1991):

$$V = \frac{d}{t} \dots\dots\dots(2.3)$$

Dimana:

V = kecepatan (km/jam, m/det)

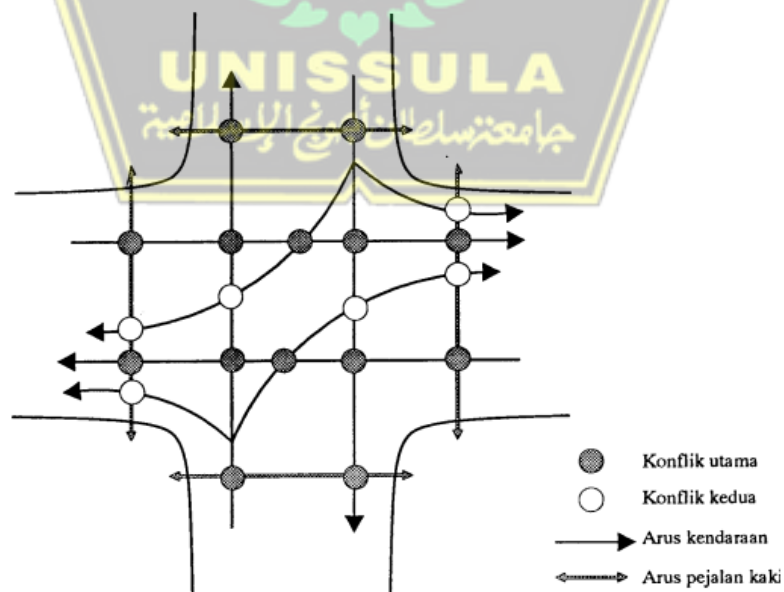
d = jarak tempuh (km, m)

t = waktu tempuh (jam, detik)

2.1.3. Konflik Lalu Lintas

Konflik lalu lintas menjadi salah satu pemicu terjadinya kemacetan lalu lintas. Sebab dari terjadinya konflik lalu lintas adalah kebutuhan terhadap ruang jalan serta periode yang bersamaan dari dua atau lebih pengguna jalan (MKJI, 1997).

Dikutip dari MKJI 1997, sifat titik konflik dapat dibedakan menjadi konflik utama dan konflik kedua, seperti yang tertera pada Gambar 2.7. di bawah ini.



Gambar 2.7. Konflik Utama dan Kedua pada Persimpangan Bersinyal

2.1.3.1. Konflik Utama

Konflik utama atau konflik primer merupakan konflik yang timbul pada arus kendaraan yang berpotongan.

2.1.3.2. Konflik Kedua

Konflik kedua atau konflik sekunder merupakan konflik yang timbul pada arus kendaraan yang membelok dengan yang dari pendekat berlawanan dan juga dengan penyeberang jalan.

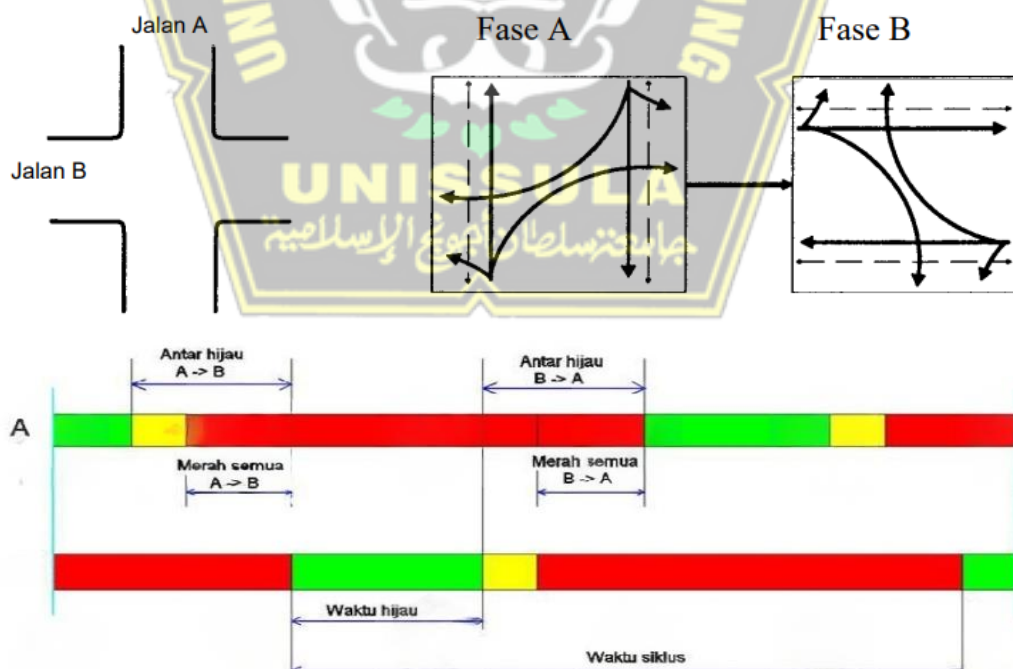
Saat terjadi konflik-konflik lalu lintas, hal ini sangat berkorelasi terhadap adanya fase yang merupakan satuan dari waktu siklus.

2.1.4. Pengaturan Fase

Berdasar MKJI 1997, fase sinyal merupakan suatu unsur dari siklus sinyal dimana lampu hijau diberikan untuk kombinasi tertentu dari pergerakan arus lalu lintas. Macam dari pengaturan fase antara lain pengaturan dua fase existing, tiga fase, tiga fase dengan *early start*, tiga fase dengan *early cut off*, dan empat fase.

2.1.4.1. Dua Fase Existing

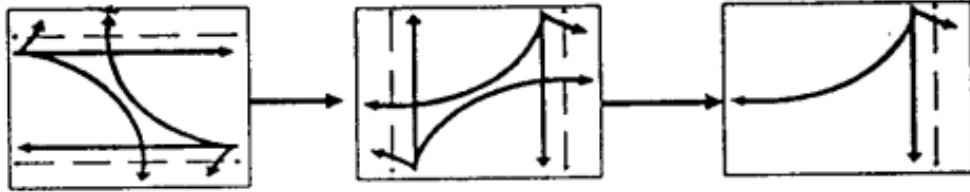
Pengaturan sinyal lalu lintas dengan memisahkan konflik-konflik primer yang terdapat pada persimpangan.



Gambar 2.8. Pengaturan Sinyal Dua Fase

2.1.4.2. Tiga Fase

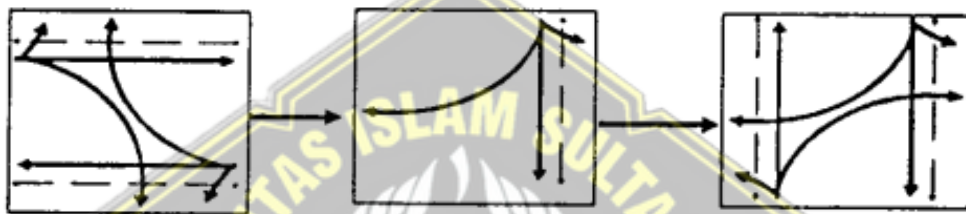
Pengaturan sinyal lalu lintas dengan pergerakan arus kendaraan sebanyak tiga fase.



Gambar 2.9. Pengaturan Sinyal Tiga Fase

2.1.4.3. Tiga Fase dengan Early Start

Pengaturan arus kendaraan dengan start dini (*early start*) pada salah satu arah, yang mana bertujuan untuk meningkatkan kapasitas belok kanannya dari arah ini.



Gambar 2.10. Pengaturan Sinyal Tiga Fase dengan *Early Start*

2.1.4.4. Tiga Fase dengan Early Cut Off

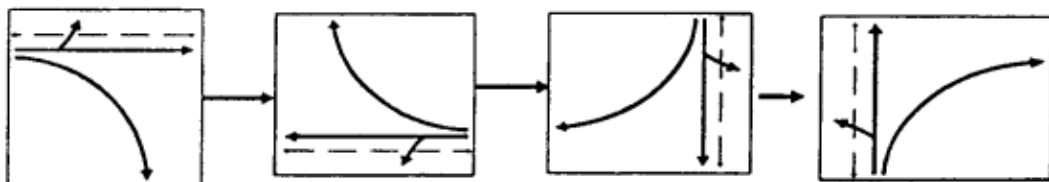
Pengaturan sinyal lalu lintas tiga fase dengan cara memotong lebih awal pergerakan belok kanan pada salah satu jalan, untuk meningkatkan kapasitas yang lurus.



Gambar 2.11. Pengaturan Sinyal Tiga Fase dengan *Early Cut Off*

2.1.4.5. Empat Fase

Pengaturan sinyal lalu lintas sebanyak empat fase gerakan lalu lintas.



Gambar 2.12. Pengaturan Sinyal Empat Fase

2.2. Kinerja Simpang Bersinyal

2.2.1. Kapasitas dan Derajat Kejenuhan

Kapasitas menurut MKJI 1997 merupakan besaran maksimum dari arus lalu lintas kendaraan yang mampu mengakomodasi suatu segmen jalan di situasi spesifik, termasuk faktor-faktor seperti kondisi fisik jalan, volume arus kendaraan saat itu, dan sistem pengendalian yang diterapkan (seperti geometrik, situasi lingkungan, rangkaian unsur lalu lintas, dan sebagainya).

Kapasitas pendekat persimpangan bersinyal dirumuskan:

$$C = S \times \frac{g}{c} \dots\dots\dots (2.4)$$

C = Kapasitas (smp/jam)

S = Arus Jenuh, yaitu arus berangkat rata-rata dari antrian dalam pendekat selama sinyal hijau (smp/jam hijau = smp per-jam hijau)

g = Waktu hijau (det)

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

Sedangkan menurut MKJI 1997, derajat kejenuhan merupakan hasil bagi antara nilai arus lalu lintas terhadap kapasitasnya. Derajat kejenuhan diperoleh melalui analisa perhitungan berikut ini:

$$DS = \frac{Q}{C} = \frac{Q \times c}{S \times g} \dots\dots\dots (2.5)$$

2.2.2. Sinyal Lalu Lintas

Sinyal lalu lintas merupakan perangkat pemberi sinyal yang difungsikan guna mengontrol arus lalu lintas di persimpangan dan lokasi lain dimana kendaraan dan pejalan kaki berpapasan. Mereka biasanya memiliki tiga lampu berwarna: merah, kuning, serta hijau, yang disusun secara vertikal atau horizontal. (Syafutri, 2018).

Maksud dipasangnyanya sinyal lalu lintas di suatu persimpangan, antara lain:

- a) Dapat mencegah kemacetan di persimpangan yang disebabkan timbulnya konflik arus kendaraan berlawanan, dimana dapat membantu mempertahankan kapasitas dari simpang selama periode arus kendaraan puncak.
- b) Meminimalisir tingkat frekuensi kecelakaan lalu lintas.
- c) Mempermudah kendaraan dan pejalan kaki untuk menyeberang jalan raya utama dari jalan minor.

Penempatan sinyal lalu lintas pada simpang termasuk yang terefektif, terutama pada ruas persimpangan yang memiliki volume relatif tinggi. Pengaturan ini bisa meminimalisir, bahkan menghilangkan konflik persimpangan dengan memisahkan pergerakan arus lalu lintas di periode yang berlainan. (Alamsyah, 2005).

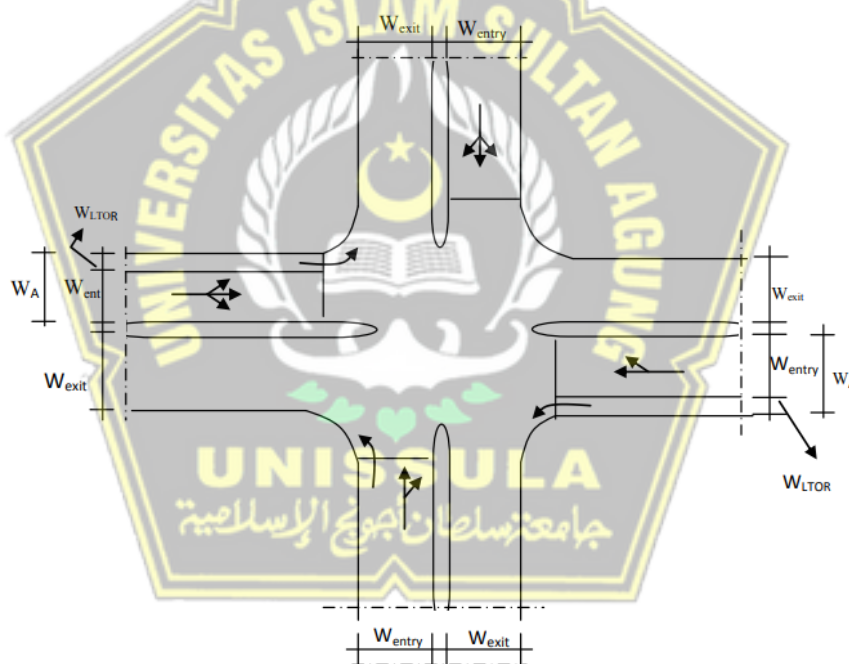
Di bawah ini tercantum beberapa istilah yang digunakan dalam pengoperasian sinyal lalu lintas pada persimpangan (Liliani, 2002), sebagai berikut:

- a) Siklus: rangkaian keseluruhan dari tampilan sinyal lalu lintas.
- b) Panjang siklus: total waktu yang diperlukan sinyal untuk merampungkan sebuah satu siklus penuh.
- c) Fase: bagian dari siklus yang ditetapkan untuk kombinasi pergerakan arus kendaraan yang diperbolehkan berjalan bersama-sama dalam satu periode waktu atau lebih.
- d) Jangka waktu atau interval: lamanya waktu sinyal tetap dalam keadaan tertentu sebelum beralih ke keadaan berikutnya.
- e) Waktu hijau efektif (g): periode hijau sebenarnya digunakan oleh pergerakan arus kendaraan pada periode tertentu. Waktu hijau efektif (g_i) dihitung sebagai selisih antara waktu hijau aktual (G) dikurangi waktu hilang akhir dan ditambahkan ke waktu hilang awal pada periode i .
- f) Waktu hijau aktual (G): periode hijau diaktifkan pada LED dan pengontrol.
- g) Waktu antar hijau (I): periode dari akhir waktu hijau untuk satu periode hingga awal waktu hijau untuk periode berikutnya. Waktu ini dihitung berdasarkan waktu berhenti dan masuknya arus kendaraan tabrakan, mengacu pada titik tabrakan. Tujuan pengaturan ini adalah untuk memastikan bahwa unsur lalu lintas terakhir dalam periode tertentu melewati titik tabrakan kritis sebelum unsur lalu lintas pertama di tahap berikutnya juga melewati titik tersebut.
- h) Rasio hijau: hasil bagi periode hijau efektif dengan panjang siklus, dengan diberikan simbol g_i/c sebagai fase i .
- i) Merah efektif: waktu selama suatu gerakan maupun kelompok gerakan tertentu tidak diperbolehkan bergerak secara efektif, dihitung sebagai selisih panjang siklus (c) dengan waktu hijau efektif (g_i) untuk periode i .
- j) *Lost time*: waktu hilang dalam suatu fase akibat terlambatnya mulai dan juga berakhirnya tingkat lepas dari unsur lalu lintas yang terjadi di saat waktu kuning.

2.2.3. Geometrik Persimpangan

Geometrik persimpangan mengacu pada dimensi fisik sebuah persimpangan. Oleh karena itu, penting memahami beberapa definisi dari MKJI 1997 sebagai berikut:

- Entry Width* (Q_{entry}), merupakan lebar ruas jalan pada pendekat yang difungsikan memasuki persimpangan, diukur pada garis perhentian;
- Exit width* (W_{exit}), merupakan lebar ruas jalan pada pendekat yang difungsikan unsur lalu lintas untuk keluar dari simpang;
- Width Left Turn on Red* ($W_{\text{L TOR}}$), merupakan lebar pendekat yang difungsikan unsur lalu lintas untuk belok kiri ketika lampu menunjukkan warna merah.
- Approach* (kaki simpang), merupakan area persimpangan yang difungsikan sebagai antrian baris unsur lalu lintas sebelum melewati garis berhenti;
- Approach width* (W_A), merupakan lebar pendekat atau lebar kaki simpang;



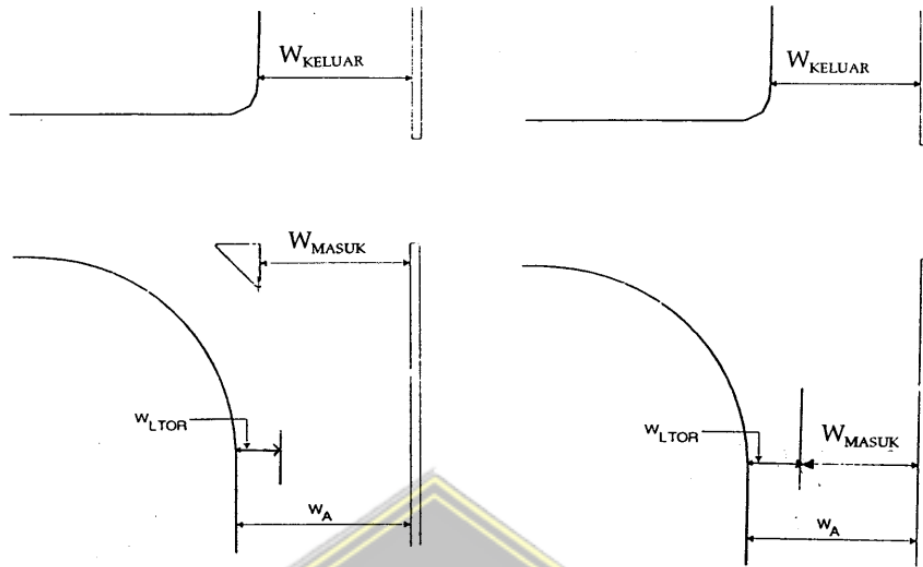
Gambar 2.13. Geometrik Simpang dengan Sinyal Lalu Lintas

- Effective approach width* (W_e), ini dapat dianalisa bagi pendekat dengan pulau lalu lintas, dapat difungsikan untuk menentukan lebar pintu masuk (W_{MASUK}) seperti yang terdapat pada Gambar 2.14., atau bagi pendekat tidak berpulau lalu lintas yang terdapat pada sisi kanan dari Gambar 2.14. di bawah ini.

Pada keadaan terakhir $W_{\text{MASUK}} = W_A - W_{\text{L TOR}}$ (2.6)

Di bawah ini, analisa dapat difungsikan terhadap kedua kondisi tersebut.

- Bagi pendekat tipe O (terlawan) serta P (terlindung)



Gambar 2.14. Lebar Efektif Kaki Sempang

Apabila nilai $W_{LTOR} > 2 \text{ m}$, berarti:

$$W_e = W_A - W_{LTOR} \text{ atau } W_e = W_{\text{entry}} \text{ (digunakan nilai terkecil)} \dots\dots\dots (2.7)$$

Apabila nilai $W_{LTOR} < 2 \text{ m}$, berarti:

$$W_e = W_A \text{ atau } W_e = W_{\text{entry}} \text{ (digunakan nilai terkecil)} \dots\dots\dots (2.8)$$

- Kontrol bagi pendekat tipe P (terlindung)

$$W_{\text{exit}} = W_{\text{entry}} \times (1 - P_{RT} - P_{LT} - P_{LTO}) \dots\dots\dots (2.9)$$

Dimana:

P_{RT} = rasio volume kendaraan belok kanan terhadap volume total

P_{LT} = rasio volume kendaraan belok kiri terhadap volume total

P_{LTO} = rasio volume kendaraan belok kiri langsung terhadap volume total

2.2.4. Kondisi Arus Lalu Lintas

Pada setiap pergerakan lalu lintas seperti belok kiri, lurus, dan belok kanan, arus lalu lintas kendaraan (Q) dihitung berdasarkan jumlah kendaraan per jam. Kemudian, angka ini dikonversi ke dalam satuan smp/jam dengan mengalikan dengan ekuivalen kendaraan penumpang (emp) bagi tiap jenis kendaraan dan pergerakan yang berhadapan maupun yang tipe terlindung. Nilai emp sesuai masing-masing tipe kendaraan berdasar pendekatnya (MKJI, 1997) ditunjukkan dalam Tabel 2.1.

Tabel 2.1. Nilai emp Sesuai Tipe Kendaraan Berdasar Pendekat

Tipe Kendaraan	Emp	
	Pendekat Terlindung	Pendekat Terlawan
LV	1,0	1,0
HV	1,3	1,3
MC	0,2	0,4

2.2.5. Karakteristik Sinyal Dan Pergerakan Lalu Lintas

Simpang umumnya diterapkan menggunakan sinyal lalu lintas untuk memastikan pergerakan dari arus lalu lintas kendaraan serta penyeberang jalan yang aman dan efisien ketika mereka melalui suatu simpang. Secara umum, parameter dasar ketika menganalisa terhadap pengaturan waktu sinyal mencakup parameter ruang (geometrik), parameter waktu, serta parameter pergerakan. Dalam kaitan ini, analisa terhadap perhitungan waktu sinyal juga mencakup dalam analisa kinerja lalu lintas pada simpang berupa antrian, jumlah henti, serta tundaan (Syafutri, 2018).

2.2.5.1. Penggunaan Sinyal

▪ Fase Sinyal

Di suatu persimpangan yang terdapat sinyal lalu lintas, dimungkinkan beberapa arus lalu lintas memperoleh prioritas jalan secara bersamaan, sementara untuk arus yang lain dihentikan. Fase sinyal adalah periode sebuah pergerakan atau lebih diberi waktu hijau dalam rentang periode berkesinambungan (Khisty dan Lall, 2005).

Pengaturan antar fase ditentukan dengan interval penyela agar tetap melaju lancar saat transisi antar fase. Hal ini biasa dikenal sebagai waktu antar hijau (*intergreen*) yang digunakan untuk waktu pengosongan (*clearance time*). Waktu antar hijau mencakup waktu merah semua (*all red*) dan waktu kuning.

▪ Waktu Antar Hijau (IG, *Inter Green*)

Adanya periode atau waktu antar hijau ($IG = all\ red + \text{kuning}$) di antara dua fase yang runtut adalah dengan tujuan sebagai berikut:

- Memberi peringatan ke unsur lalu lintas yang melaju karena fase telah berakhir.
- Memastikan supaya unsur lalu lintas terakhir di fase hijau yang belum lama berakhir punya waktu yang memadai untuk meninggalkan area titik konflik sebelum unsur lalu lintas pertama dari fase selanjutnya melaju untuk masuk area yang sama. (Syafutri, 2018).

Dalam melakukan analisa rencana dan pelaksanaan, dianjurkan agar membuat perhitungan detail terhadap waktu antar hijau untuk *clearance* dan *lost time*. Untuk analisa bagi kepentingan desain, waktu antar hijau yang ada sebenarnya dapat diperhitungkan sebagai nilai normal (MKJI, 1997). Nilai normal waktu antar hijau ada pada Tabel 2.2. atau dengan memakai rumus di bawah ini:

$$IG = \text{Kuning (Amber)} + \text{All Red (AR)} \dots\dots\dots(2.10)$$

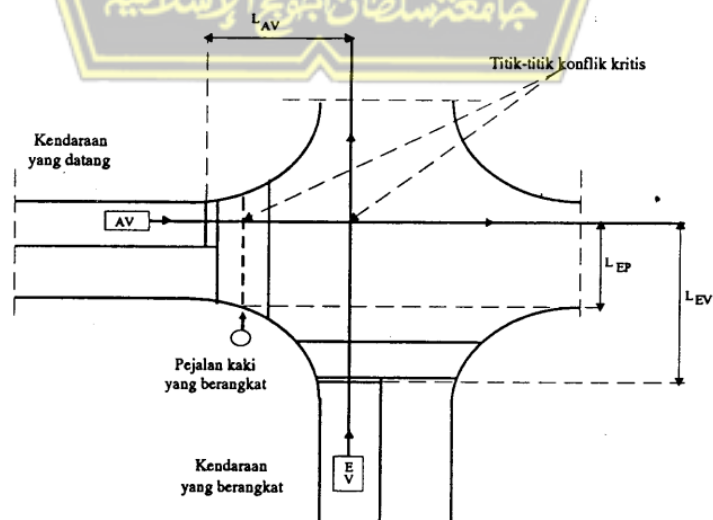
Tabel 2.2. Nilai Normal Waktu Antar Hijau

Ukuran Simpang	Lebar Jalan Rata-rata	Nilai Normal Waktu Antar Hijau
Kecil	6 – 9 m	4 detik / fase
Sedang	10 – 14 m	5 detik / fase
Besar	≥ 15 m	≥ 6 detik / fase

▪ Waktu Merah Semua (AR, *All Red*)

Waktu merah semua merupakan total keseluruhan periode antara waktu hijau pada suatu kesatuan siklus yang utuh. Waktu hilang bisa juga didapat dari selisih waktu siklus dengan total waktu hijau di keseluruhan fase yang runtut (MKJI, 1997).

Untuk waktu pengosongan (*clearance time*) di akhir setiap fasenya, *all red* difungsikan untuk memberikan kesempatan unsur lalu lintas terakhir (sudah melampaui garis henti di saat waktu kuning berakhir), melaju dari titik konflik sebelum pertama kali tibanya unsur lalu lintas dari fase selanjutnya tepat di area yang ada tersebut.



Gambar 2.15. Titik Konflik Kritis serta Jarak Berangkat dan Tiba

Titik konflik kritis setiap fasenya (i) merupakan titik yang memiliki waktu *all red* dengan perhitungan sebagai berikut:

$$\text{Merah Semua, All Red} = \frac{L_{EV} + I_{EV}}{V_{EV}} + \frac{L_{AV}}{V_{AV}} \dots\dots\dots (2.11)$$

L_{EV} , L_{AV} = Jarak dari garis henti ke titik konflik masing-masing untuk kendaraan yang berangkat dan yang datang (m)

V_{EV} , V_{AV} = Kecepatan masing-masing untuk kendaraan yang berangkat dan yang datang (m/det)

I_{EV} = Panjang kendaraan yang berangkat (m)

Pemilihan untuk nilai V_{EV} , V_{AV} , I_{EV} sebenarnya bergantung dari tipe-tipe unsur lalu lintas dan kondisi kecepatan masing-masing unsur lalu lintas di lokasi tersebut. Nilai sementara ini bisa dipakai dengan ketiadaan aturan di Indonesia perihal ini.

Kecepatan kendaraan yang datang $V_{AV} = 10$ m/det (kendaraan bermotor)

Kecepatan kendaraan yang berangkat $V_{EV} = 10$ m/det (kendaraan bermotor)
 3 m/det (kendaraan tidak bermotor)
 $1,2$ m/det (pejalan kaki)

Panjang kendaraan yang berangkat $I_{EV} = 5$ m (LV atau HV)
 2 m (MC atau UM)

▪ Waktu Kuning (*Amber*)

Berlandaskan Peraturan Pemerintah No. 43/1993 Pasal 29 Ayat 3 menjelaskan, lampu sinyal berwarna kuning yang hidup setelah lampu sinyal berwarna hijau, menandakan unsur lalu lintas masih belum tiba pada garis marka melintang bergaris utuh sudah siap berhenti.

Berdasar dari MKJI 1997 adalah sebagai berikut:

Dianjurkan waktu kuning (*amber*) = 3 detik.

Untuk jalan dengan kecepatan tinggi = 5 detik.

▪ Waktu Hilang (LTI, *Lost Time*)

Analisa perhitungan dibuat untuk keseluruhan pergerakan arus kendaraan yang diatur oleh sinyal (bukan untuk belok kiri jalan terus). Jika waktu merah diterapkan keseluruhan masing-masing akhir fase, maka waktu hilang (LTI) persimpangan dapat dianalisa sebagai keseluruhan dari waktu-waktu antar hijau (MKJI 1997):

$$LTI = \Sigma (\text{Merah Semua} + \text{Kuning}) I = \Sigma I_{gi} \dots\dots\dots (2.12)$$

Gambar 2.16. Penerapan Dasar Arus Jenuh dan Waktu Hilang

Penentuan Waktu Sinyal

- Jenis Pendekat Efektif

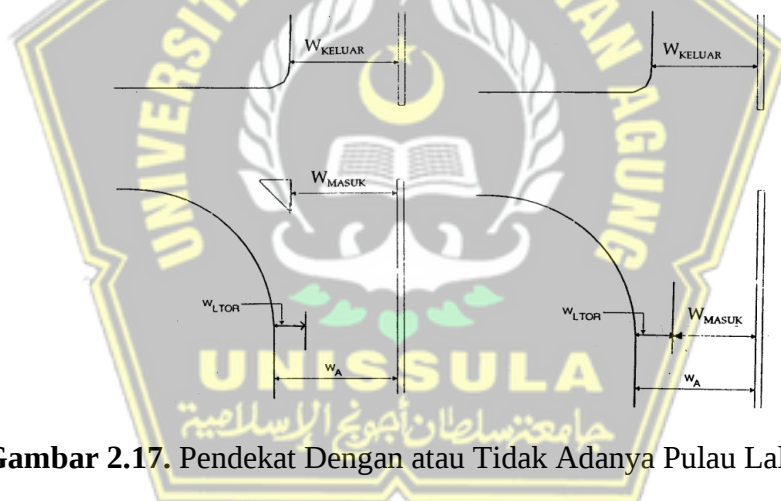
Pendekat dapat diartikan

- a) Tipe terlindung (P) merupakan pergerakan unsur lalu lintas di suatu simpang yang tidak ada konflik antar kaki simpang yang berlainan ketika lampu sedang berwarna hijau ketika fase yang sama.
- b) Tipe terlawan (O) merupakan pergerakan unsur lalu lintas di suatu simpang dimana timbul konflik di antara unsur lalu lintas yang akan belok kanan dengan unsur lalu lintas yang melaju lurus atau juga belok kiri dari arah berbeda ketika lampu sedang berwarna hijau ketika fase yang sama.

- Lebar Pendekat Efektif

Yang dimaksud lebar pendekat merupakan lebar yang diperkeras dari sisi pendekat yang diukur pada area tersempit sisi hulu, sedangkan lebar efektif merupakan lebar yang diperkeras dari sisi pendekat, yang dibutuhkan dalam perhitungan kapasitas. Lebar efektif (W_e) untuk masing-masing pendekat dianalisa mengacu pada informasi mengenai lebar pendekat (W_A), lebar masuk (W_{masuk}), lebar keluar (W_{keluar}), serta perbandingan arus lalu lintas yang berbelok.

- Langkah bagi pendekat yang tidak terdapat belok kiri langsung (LTOR).
Apabila $W_{keluar} < W_e \times (1 - P_{RT} - P_{LTOR})$, W_e diperbarui dengan nilai yang sama dengan W_{keluar} dan untuk perhitungan penentuan waktu sinyal pada pendekat dibuat cukup untuk hanya pergerakan lurusnya ($Q = Q_{ST}$)
- Langkah bagi pendekat yang terdapat belok kiri langsung (LTOR).
Lebar efektif (W_e) dapat dilakukan perhitungan bagi pendekat yang memiliki pulau lalu lintas maupun tidak.



Gambar 2.17. Pendekat Dengan atau Tidak Adanya Pulau Lalu Lintas

2.2.5.3. Arus Jenuh

Menurut MKJI 1997, analisa perhitungan arus jenuh dinyatakan bahwa dimana dapat disalurkanannya arus lalu lintas yang melaju ketika waktu hijau. Arus jenuh dasar (S_0) bagi tiap pendekat dijabarkan seperti yang ada di bawah ini:

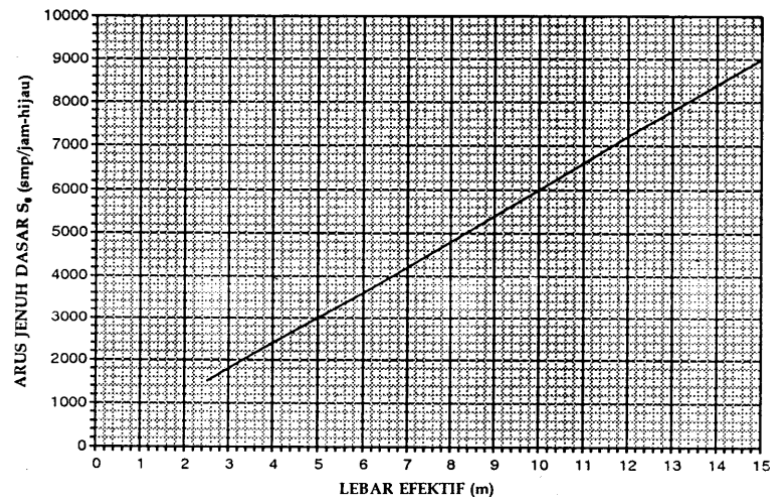
- Bagi pendekat tipe terlindung (P , *Protected*), yaitu:

$$S_0 = 600 \times W_e \text{ smp/jam} \dots\dots\dots(2.13)$$

Dimana,

S_0 = arus jenuh dasar (smp/jam).

W_e = lebar jalan efektif (m).



Gambar 2.18. Arus Jenuh Dasar bagi Pendekat Tipe P

Berdasar nilai arus jenuh dasar yang dipengaruhi oleh lebar pendekat, besarnya nilai jenuh dipengaruhi oleh komposisi unsur lalu lintas yang melintasi sepanjang jalan tersebut, dengan membagi kendaraan yang lewat sesuai dengan tipe-tipe kendaraan yang merupakan bagian dari arus lalu lintas.

Beberapa faktor yang berperan menyangkut besarnya arus jenuh merupakan banyaknya lajur pada masing-masing kelompok dan lebar lajur, persentase unsur lalu lintas yang melintas, kelandaian jalan, keberadaan lajur parkir dan banyaknya manuver parkir, pengaruh kesesuaian kota serta banyaknya penduduk setempat, hambatan samping juga berpengaruh, serta ini berkaitan dengan situasi lingkungan jalan, dan pengaruh kesesuaian belok kiri dan kanan.

Dalam perhitungan arus jenuh sesuai MKJI 1997, persamaan matematis digunakan untuk menyatakan hal-hal di atas:

$$S = S_0 \cdot F_{CS} \cdot F_{SF} \cdot F_G \cdot F_P \cdot F_{RT} \cdot F_{LT} \text{ (smp/jam)} \dots\dots\dots (2.14)$$

Dimana:

S = Arus jenuh sesuai kelompok lajur yang sedang dianalisa (smp/jam).

S_0 = Arus jenuh dasar untuk setiap pendekat (smp/jam).

F_{CS} = Faktor kesesuaian ukuran kota setempat dengan kepadatan penduduknya.

F_{SF} = Faktor kesesuaian hambatan samping sesuai pada lokasi.

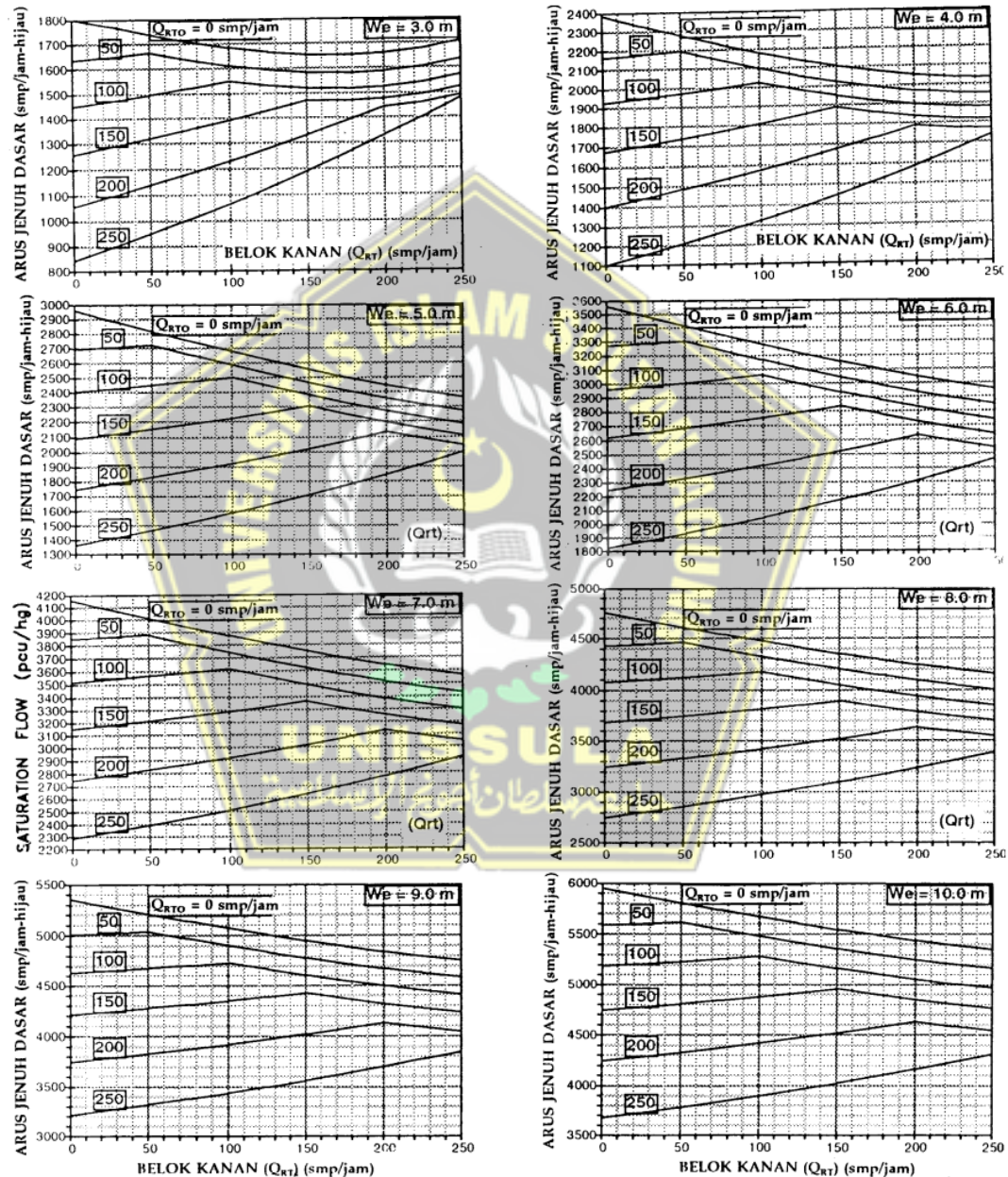
F_G = Faktor kesesuaian kemiringan memanjang / kelandaian jalan.

F_P = Faktor kesesuaian terhadap parkir.

F_{RT} = Faktor kesesuaian berbelok ke kanan.

F_{LT} = Faktor kesesuaian berbelok ke kiri.

Fase sinyal terlindung harus dipertimbangkan jika pergerakan belok ke kanan melampaui nilai 250 smp/jam, yang mana rencana fase sinyal semestinya diubah. Untuk tujuan analisa operasional, langkah pendekatan berikut bisa dipakai, sebagai contoh guna pengkajian ulang waktu sinyal suatu persimpangan. Bagi pendekat dengan tipe O yang tidak adanya lajur belok ke kanan terpisah ditunjukkan pada Gambar 2.19. berikut ini.



Gambar 2.19. Bagi Pendekat Tipe O Tanpa Lajur Belok Kanan Terpisah

2.2.5.4. Rasio Arus

Terdapat beberapa tahapan untuk memperoleh rasio arus jenuh (MKJI, 1997), yaitu:

- Arus lalu lintas setiap pendekat (Q)
 - a) Cukup laju unsur lalu lintas lurus yang dianalisa dalam nilai Q, apabila nilai dari W_e (W_{exit}) = W_{keluar} .
 - b) Kombinasi arus kendaraan semestinya dianalisa sebagai smp rerata berbobot untuk situasi terlawan maupun terlindung, bilamana suatu pendekat memiliki sinyal hijau dalam dua fase. Dengan menggunakan cara yang serupa dengan analisa hitungan arus jenuh.

- Rasio arus (FR) setiap pendekat:

$$FR = \frac{Q}{S} \dots\dots\dots (2.15)$$

- Mendapatkan tanda rasio arus kritis (FR_{CRLT}) maksimum terhadap setiap fase.

- Rasio arus persimpangan (IFR) sebagai total keseluruhan dari nilai FR_{CRLT} .

$$IFR = \Sigma (FR_{CRLT}) \dots\dots\dots (2.16)$$

- Rasio fase (PR) setiap fase sebagai perbandingan nilai FR_{CRLT} dan IFR.

$$PR = FR_{CRLT} / IFR \dots\dots\dots (2.17)$$

2.3. Faktor Kesesuaian

Dalam analisa arus jenuh mengacu pada MKJI 1997, terdapat beberapa faktor yang dikenal sebagai faktor kesesuaian atau faktor koreksi. Faktor kesesuaian bagi kedua tipe pendekat (tipe P dan O) mencakup hambatan samping, kelandaian, parkir, serta ukuran kota. Namun, khusus bagi tipe pendekat P, terdapat faktor kesesuaian belok ke kanan (F_{RT}) dan faktor kesesuaian belok ke kiri (F_{LT}).

2.3.1. Faktor Kesesuaian Ukuran Kota (F_{CS})

Banyaknya penduduk dari suatu kota tertentu akan berdampak pada banyaknya kendaraan yang ada dan karakteristik perilaku pengguna jalan (MKJI, 1997).

Tabel 2.3. Faktor Kesesuaian Ukuran Kota (F_{CS})

Ukuran Kota (CS)	Penduduk Kota (Juta Jiwa)	Faktor Penyesuaian Ukuran Kota (F_{CS})
Sangat Kecil	< 0,1	0,82
Kecil	0,1 – 0,5	0,83
Sedang	0,5 – 1,0	0,94
Besar	1,0 – 3,0	1
Sangat Besar	> 3,0	1,05

2.3.2. Faktor Kesesuaian Hambatan Samping (F_{SF})

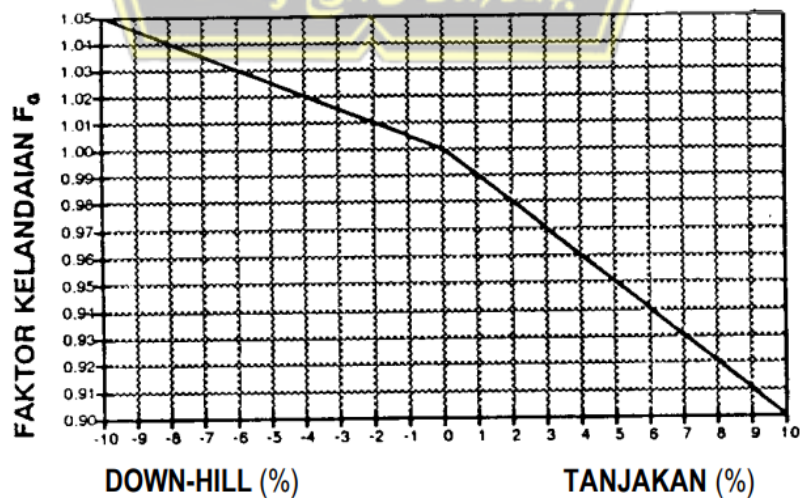
Faktor kesesuaian hambatan samping mengacu pada Tabel 2.4. dari MKJI 1997 di bawah ini.

Tabel 2.4. Faktor Kesesuaian Tipe Lingkungan, Hambatan Samping, dan Kendaraan Tidak Bermotor (F_{SF})

Lingkungan Jalan	Hambatan Samping	Tipe Fase	Rasio Kendaraan Tidak Bermotor					
			0	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
Pemukiman (RES)	Tinggi	Terlawan	0,96	0,91	0,86	0,81	0,78	0,72
		Terlindung	0,96	0,94	0,91	0,89	0,86	0,84
	Sedang	Terlawan	0,97	0,92	0,87	0,82	0,79	0,73
		Terlindung	0,97	0,95	0,92	0,90	0,87	0,95
	Rendah	Terlawan	0,98	0,93	0,88	0,83	0,80	0,74
		Terlindung	0,98	0,96	0,93	0,91	0,88	0,86
Akses Terbatas (RA)	Tinggi/ Sedang/ Rendah	Terlawan	1,0	0,95	0,90	0,85	0,80	0,75
		Terlindung	1,0	0,98	0,95	0,93	0,90	0,88

2.3.3. Faktor Kesesuaian Kelandaian (F_G)

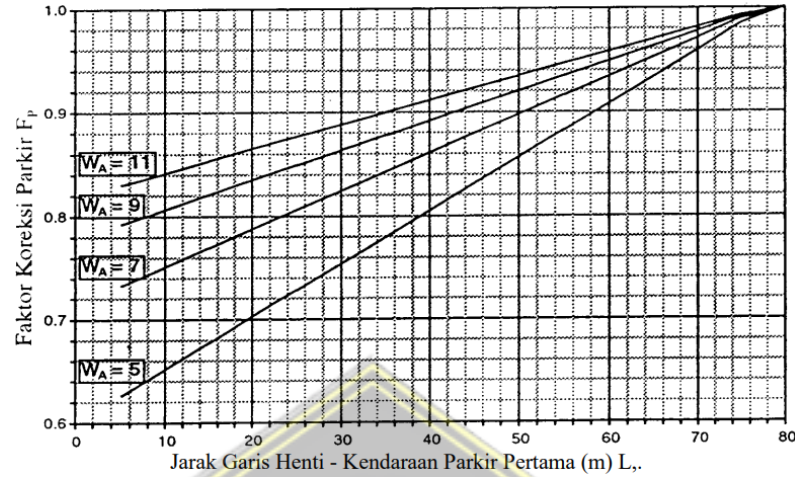
Faktor kesesuaian kelandaian (F_G) didapat dari grafik (MKJI, 1997) di bawah ini. Faktor akan bernilai 1 bagi ruas simpang dengan kelandaian 0% atau datar.



Gambar 2.20. Faktor Kesesuaian untuk Kelandaian (F_G)

2.3.4. Faktor Kesesuaian Parkir (F_p)

Faktor kesesuaian parkir didapat dari grafik berikut sebagai fungsi jarak dari garis henti hingga kendaraan yang diparkir pertama dan lebar pendekat (MKJI, 1997).



Gambar 2.21. Faktor Kesesuaian Pengaruh Parkir dan Lajur Belok Kiri yang Pendek (F_p)

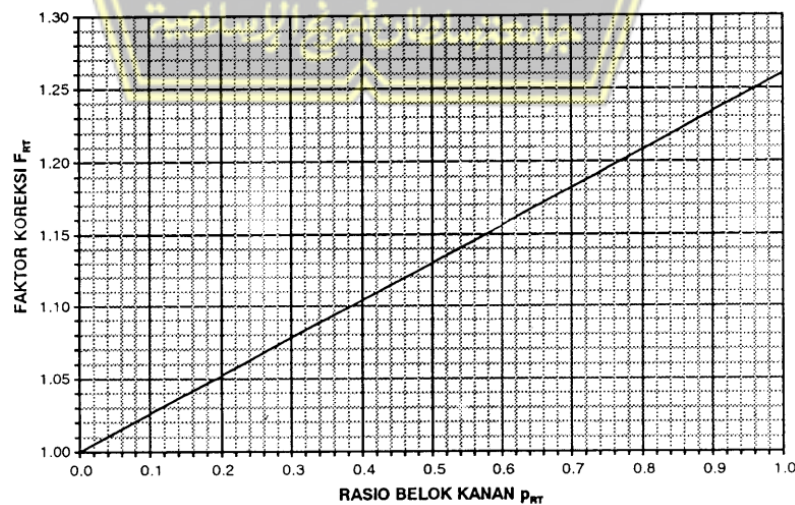
2.3.5. Faktor Kesesuaian Belok Kanan (F_{RT})

Faktor kesesuaian belok kanan (F_{RT}) dikhususkan bagi pendekat tipe P dan jalan dengan dua arah. Lebar efektif ditetapkan oleh lebar masuknya. Faktor kesesuaian belok kanan dianalisa dengan memakai rumus (MKJI, 1997) berikut:

$$F_{RT} = 1,0 + (P_{RT} \cdot 0,26) \dots\dots\dots (2.18)$$

F_{RT} = faktor kesesuaian berbelok ke arah kanan,

P_{RT} = rasio perbandingan berbelok ke arah kanan.



Gambar 2.22. Faktor Kesesuaian untuk Pengaruh Belok Kanan (F_{RT})

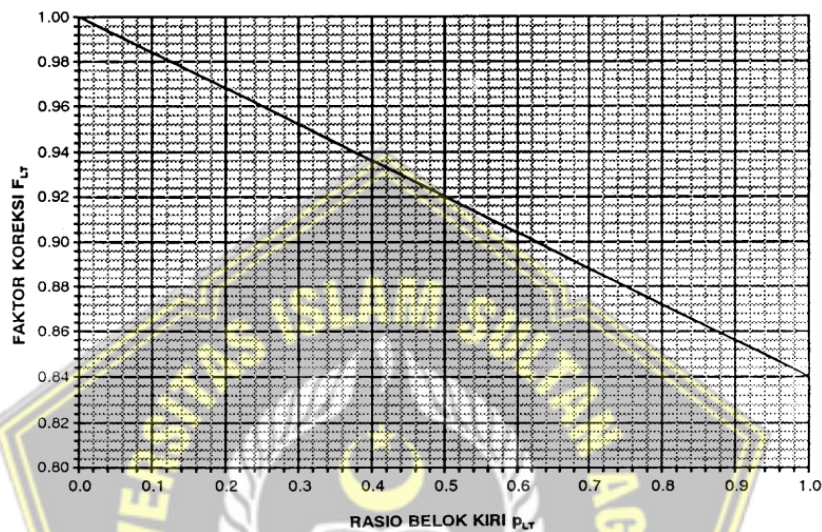
2.3.6. Faktor Kesesuaian Belok Kiri (F_{LT})

Faktor kesesuaian belok kiri dikhususkan bagi pendekat tipe P tanpa belok kiri langsung, dimana lebar efektif ditetapkan oleh lebar masuknya. Faktor kesesuaian belok kiri dianalisa dengan memakai rumus (MKJI, 1997) di bawah ini:

$$F_{LT} = 1,0 - (P_{LT} \cdot 0,16) \dots\dots\dots (2.19)$$

F_{LT} = faktor kesesuaian berbelok ke arah kiri,

P_{LT} = rasio perbandingan berbelok ke arah kiri.



Gambar 2.23. Faktor Kesesuaian untuk Pengaruh Belok Kiri (F_{LT})

Unsur lalu lintas yang berbelok kiri cenderung akan melambat pada pendekat terlindung yang tidak menyediakan belok kiri langsung, dimana akan menurunkan nilai arus jenuh dari pendekat itu. Tidak harus dilakukan adanya kesesuaian untuk pengaruh rasio berbelok kiri sebab arus berangkat dalam pendekat terlawan pada umumnya tetap lebih pelan. (MKJI, 1997).

2.4. Waktu Siklus dan Waktu Hijau

Waktu siklus menurut MKJI 1997 dapat dimaknai sebagai periode untuk urutan dari indikasi perubahan sinyal yang utuh, sebagai contoh antara dua permulaan hijau yang runtut di pendekatan fase yang serupa. Sedangkan waktu hijau menjadi fase guna kontrol lalu lintas aktuasi kendaraan.

2.4.1. Waktu Siklus Sebelum Kesesuaian

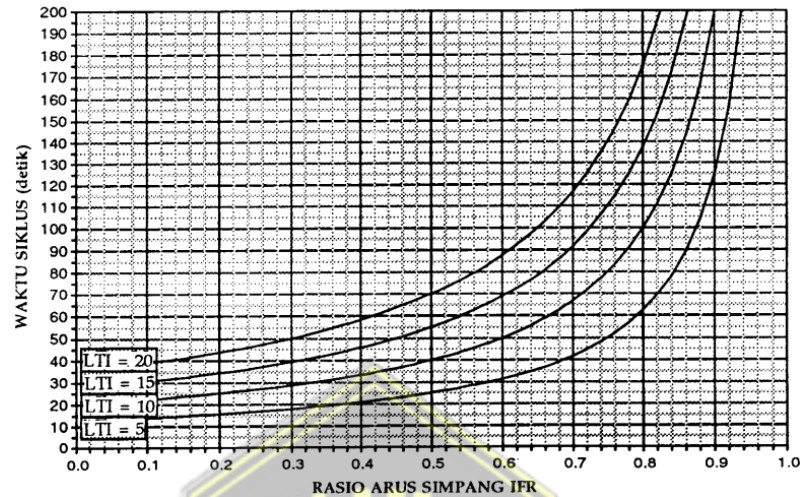
Waktu siklus sebelum kesesuaian (C_{ua}) dianalisa guna pengontrolan waktu konstan dan masukkan hasil analisa ke kolom bertuliskan "waktu siklus" (MKJI, 1997).

$$C_{ua} = ((1,5 \cdot LTI) + 5) / (1 - IFR) \dots\dots\dots (2.20)$$

C_{ua} = lama siklus sebelum kesesuaian sinyal (det)

LTI = lamanya durasi hilang total per siklus (det)

IFR = perbandingan arus persimpangan



Gambar 2.24. Penetapan Waktu Siklus Sebelum Kesesuaian

Tabel 2.5. Waktu Siklus yang Dianjurkan dalam Situasi Berbeda

Tipe Pengaturan	Waktu Siklus yang Layak (detik)
Pengaturan dua fase	40 – 80
Pengaturan tiga fase	50 – 100
Pengaturan empat fase	80 – 130

Apabila dari analisa didapatkan waktu siklus yang jauh lebih tinggi dari batasan yang dianjurkan, ini menunjukkan tak mencukupinya kapasitas denah simpang.

2.4.2. Waktu Hijau

Analisa waktu hijau (g) untuk masing-masing fase:

$$g_i = (C_{ua} - LTI) \times PR_i \quad \dots\dots\dots (2.21)$$

g_i = Wujud waktu hijau pada fase i (det)

C_{ua} = Lama siklus sebelum kesesuaian (det)

LTI = Lamanya durasi hilang total setiap siklus

PR_i = Perbandingan fase $FR_{crit} / \Sigma (FR_{crit})$

Direkomendasikan untuk tidak mengoperasikan waktu hijau dengan lama durasi kurang dari 10 detik, karena hal tersebut bisa memunculkan banyak penerobosan lampu merah serta kesulitan para pejalan kaki maupun orang yang menyeberang jalan. (MKJI, 1997).

2.4.3. Waktu Siklus yang Disesuaikan

Hitung waktu siklus yang disesuaikan (c) mengacu waktu hijau yang didapat dan sudah dibulatkan serta waktu hilang (LTI) dan masukkan hasil analisisnya di bagian terbawah kotak analisa perhitungan dengan tanda tulisan “waktu siklus yang disesuaikan” (MKJI, 1997).

$$c = \Sigma g + LTI \dots\dots\dots(2.22)$$

2.5. Panjang Antrian dan Tundaan

2.5.1. Panjang Antrian

Jumlah rerata antrian pada awal sinyal hijau (NQ) dianalisa dari hasil penjumlahan antara banyaknya smp yang tersisa dari fase hijau sebelumnya (NQ1) dengan banyaknya smp yang tiba saat fase merah (NQ2) (MKJI, 1997).

$$NQ = NQ1 + NQ2 \dots\dots\dots(2.23)$$

$$NQ1 = 0,25 \cdot C \left[(DS - 1) + \sqrt{(DS - 1)^2 + \frac{8(DS - 0,5)}{c}} \right] \dots\dots\dots(2.24)$$

$$\text{Apabila } DS \leq 0,5 ; \text{ maka } NQ1 = 0 \dots\dots\dots(2.25)$$

$$NQ2 = C \frac{1 - GR}{1 - GR \cdot DS} \cdot \frac{Q_{masuk}}{3600} \dots\dots\dots(2.26)$$

NQ1 = jumlah smp yang tertinggal dari fase hijau sebelumnya.

NQ2 = jumlah smp yang datang selama fase merah.

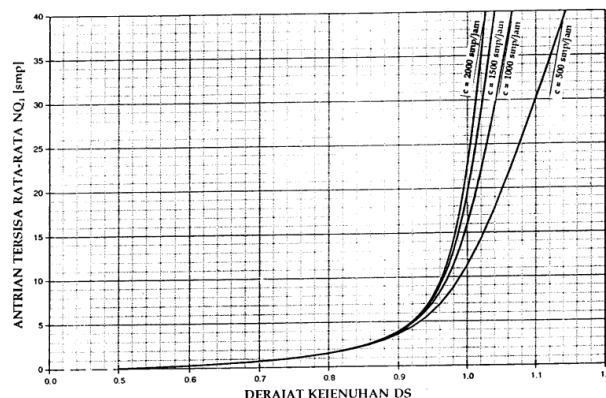
DS = derajat kejenuhan.

GR = rasio siklus.

c = waktu siklus (det).

C = kapasitas (smp/jam) = arus jenuh kali rasio hijau (S x GR).

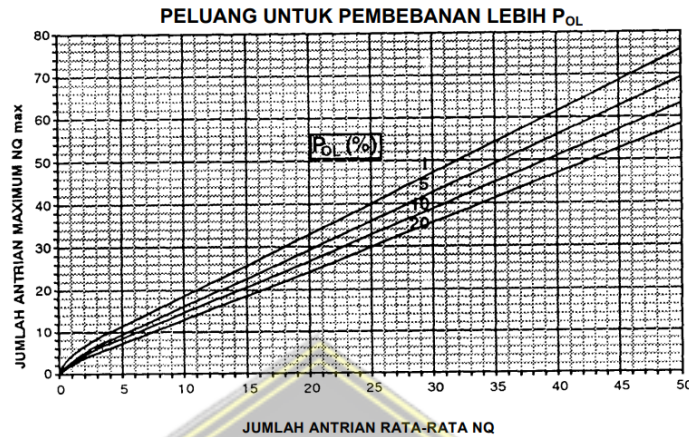
Q = arus lalu lintas pada pendekat tersebut (smp/det).



Gambar 2.25. Banyaknya Antri Kendaraan (smp) yang Tersisa dari Fase Hijau Sebelumnya (NQ1)

Analisa panjang antrian (QL) dan mengalikan NQMAX dengan luasan rerata yang dipakai setiap smp (20 m²) lalu bagi terhadap nilai lebar masuknya.

$$QL = \frac{NQ_{MAX} \times 20}{W_{MASUK}} \dots\dots\dots (2.27)$$



Gambar 2.26. Analisa Jumlah Antrian Rata-rata (NQMAX)

2.5.2. Kendaraan Terhenti

Angka henti (NS) pada setiap pendekat yang diartikan sebagai jumlah rerata berhenti per smp. Nilai NS merupakan fungsi NQ yang dibagi waktu siklus (MKJI, 1997).

$$NS = 0,9 \cdot \frac{NQ}{Q \cdot c} \cdot 3600 \dots\dots\dots (2.28)$$

c = waktu siklus

Q = arus lalu lintas

Banyaknya kendaraan terhenti NSV masing-masing pendekat.

$$NS_v = Q \cdot NS \text{ (smp/jam)} \dots\dots\dots (2.29)$$

Angka henti tiap persimpangan dengan membagi banyaknya kendaraan terhenti pada keseluruhan pendekat dengan arus simpang total Q dalam kendaraan/jam.

$$NS_{tot} = \frac{\sum NS_v}{Q_{total}} \dots\dots\dots (2.30)$$

2.5.3. Tundaan

Tundaan lalu lintas di setiap pendekat (DT) diakibatkan pada timbal balik dengan pergerakan-pergerakan yang lainnya pada persimpangan (MKJI, 1997).

$$DT = c \cdot A \cdot \frac{NQ \times 3600}{c} \dots\dots\dots (2.31)$$

DT = tundaan lalu lintas rata-rata (det/smp)

c = waktu siklus yang disesuaikan (det)

$$A = \frac{0,5 \cdot (1-GR)^2}{1-GR \cdot DS}$$

GR = perbandingan rasio hijau (g/c)

DS = derajat kejenuhan

NQ1 = banyaknya smp tersisa dari fase hijau sebelumnya

C = kapasitas (smp/jam)

Berdasar MKJI 1997, tundaan geometrik rerata di setiap pendekat (DG) karena adanya perlambatan dan percepatan ketika menunggu giliran di suatu simpang dan/atau saat diberhentikan sinyal lampu merah.

$$DG_j = (1 - PSV) \cdot PT \cdot 6 + (PSV \cdot 4) \dots\dots\dots(2.32)$$

DG_j = tundaan geometrik rata-rata untuk pendekat j (det/smp)

PSV = rasio kendaraan terhenti pada pendekat

PT = rasio kendaraan berbelok

Dikutip dari MKJI 1997, Tundaan rata-rata pada keseluruhan simpang (D1) didapat dari hasil bagi nilai tundaan terhadap arus total (Q_{tot}) dalam smp/jam.

$$D1 = \frac{(Q \times D_j)}{Q_{total}} \dots\dots\dots(2.33)$$

Tundaan simpang rata-rata (D1) bisa difungsikan untuk indikator pada tingkat pelayanan pada setiap pendekat dan dari suatu simpang keseluruhannya (MKJI, 1997). Hubungan antara tundaan dengan tingkat pelayanan diambil dari Peraturan Kemenhub Nomor 14 Tahun 2006 tentang Manajemen dan Rekayasa Lalu Lintas di Jalan, ditampilkan pada Tabel 2.6. berikut.

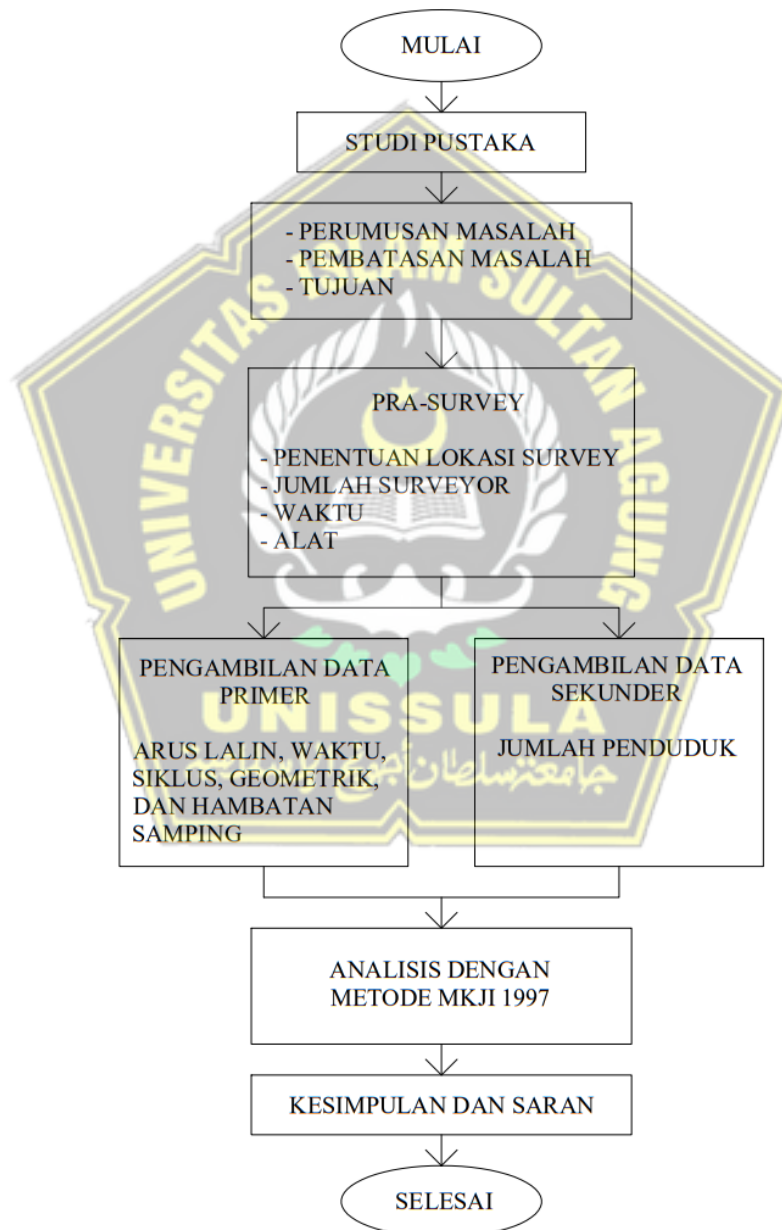
Tabel 2.6. Hubungan Tundaan terhadap Tingkat Pelayanan

Tingkat Pelayanan	Tundaan (detik/smp)
A	< 5,0
B	5,1 – 15,0
C	15,1 – 25,0
D	25,1 – 40,0
E	40,1 – 60,0
F	> 60,0

BAB III METODOLOGI

3.1. Garis Besar Metodologi Penelitian

Secara garis besar, proses dalam penyusunan Tugas Akhir ini terdapat pada bagan alir (*flowchart*) di Gambar 3.1. berikut ini.



Gambar 3.1. *Flowchart* Penelitian

3.2. Pengumpulan Data

Pengumpulan atau pengambilan data dalam penyusunan Tugas Akhir ini dibagi menjadi dua, yaitu berupa data sekunder dan data primer.

3.2.1. Data Primer

Data primer adalah data yang diperoleh secara langsung di lapangan. Data primer berisi data geometrik dan inventaris jalan. Data tersebut didapat dengan melakukan pengamatan untuk mengetahui kelengkapan jalan seperti median, garis berhenti, dan lain-lain. Dalam melakukan pengukuran jarak (menggunakan satuan meter) dengan alat meteran (*roll meter*). Jarak yang diukur adalah lebar jalur jalan, lebar pendekat. Dalam data primer juga mengambil data arus lalu lintas dan waktu siklus persimpangan bersinyal untuk digunakan dalam analisa perhitungan.

3.2.2. Data Sekunder

Data sekunder yang dicantumkan dalam laporan adalah data penduduk Kota Semarang. Menurut catatan Badan Pusat Statistik (BPS) tahun 2022, Semarang memiliki penduduk mencapai 1,65 juta jiwa, dengan jumlah 818.441 jiwa (49,5%) berjenis kelamin laki-laki dan 835.083 jiwa (50,5%) perempuan.

3.3. Waktu Penelitian

Data arus lalu lintas dengan nilai paling tertinggi akan menjadi data acuan untuk mengevaluasi kinerja persimpangan. Data tersebut diambil sebab merupakan data maksimum, yang mana terjadi arus lalu lintas padat pada jam tersebut sehingga dianggap itu akan mewakili data lainnya (Syafutri, 2018).

Pengambilan data arus lalu lintas dilakukan dalam dua hari (satu pada hari libur dan satu pada hari kerja) (Syaikeu dan Widodo, 2016), yaitu pada Sabtu, 8 Juli 2023 dan Senin, 10 Juli 2023. Dalam pengambilan data tersebut dilakukan dalam interval waktu setiap 15 menit. Rincian waktu pengambilan data arus kendaraan, sebagai berikut:

- a) Pagi hari, pukul 06.30 – 08.30 WIB
- b) Siang hari, pukul 11.30 – 13.30 WIB
- c) Sore hari, pukul 15.30 – 17.30 WIB

3.4. Lokasi Penempatan Surveyor

Pada survei arus kendaraan pada persimpangan bersinyal Jati Raya ini dikerjakan oleh dua surveyor secara digitalisasi, yang mana kedua surveyor memasang kamera

handphone dengan aksesoris *tripod* pada posisi yang telah ditentukan dengan pandangan yang memadai untuk merekam pergerakan arus lalu lintas dari keempat arah selama waktu yang telah ditentukan. Surveyor melihat ulang rekaman video yang telah direkam, kemudian menghitung dengan bantuan aplikasi *Traffic Counter* yang diunduh dari *Google Play Store* dan mencatat jumlah dari tiap kendaraan yang melewati titik yang sudah ditentukan dalam formulir survei pada file *Microsoft Excel* yang disiapkan sebelumnya. Posisi peletakan kamera dilambangkan dengan huruf sesuai Gambar 3.2 berikut.



Gambar 3.2. Denah Simpang Jati Raya dan Penempatan Surveyor

Tabel 3.1. Data Geometrik Simpang Jati Raya

Kode Pendekat	Tipe Lingkungan Jalan	Hambatan Samping Tinggi/Rendah	Median Ya/Tidak	Belok Kiri Langsung Ya/Tidak	Jarak ke Kendaraan Parkir	Lebar Pendekat			
						W _a	W _{masuk}	W _{LTOR}	W _{keluar}
Utara	Com	R	T	T	-	7,0	3,5	-	3,5
Selatan	Com	R	T	T	-	7,0	3,5	-	3,5
Timur	Com	R	T	T	-	7,0	3,5	-	3,5
Barat	Com	R	T	T	-	7,0	3,5	-	3,5

3.5. Data Arus Lalu Lintas

Data arus lalu lintas didapat dari hasil survei langsung di lapangan menggunakan satuan kendaraan per jam (kend/jam). Dalam analisa nantinya dikonversi menjadi satuan mobil penumpang per-jam (smp/jam) disesuaikan pada rencana pendekat.

Jenis kendaraan yang disurvei di persimpangan bersinyal Jati Raya dibagi dalam empat golongan, sebagai berikut:

- Kendaraan ringan / *Light Vehicle* (LV)
- Kendaraan berat / *Heavy Vehicle* (HV)
- Sepeda motor / *Motor Cycle* (MC)
- Kendaraan tidak bermotor / *Un Motorized* (UM)

Rincian dari hasil survei banyaknya kendaraan terdapat pada Tabel 3.2. berikut.

Tabel 3.2. Data Hasil Survei Lalu Lintas

Hari, Tanggal : Sabtu, 8 Juli 2023												
Pukul : 06.30 - 07.30 (Pagi)												
Tipe Kendaraan	Pendekat Utara			Pendekat Selatan			Pendekat Timur			Pendekat Barat		
	LT	ST	RT	LT	ST	RT	LT	ST	RT	LT	ST	RT
Sepeda Motor	33	612	307	120	573	164	256	592	95	295	419	112
Kendaraan Ringan (LV)	27	107	49	38	116	17	25	101	40	48	75	35
Kendaraan Berat (HV)	1	10	2	6	1	1	0	2	1	1	0	6
Kendaraan Tak Bermotor (UM)	0	8	3	7	5	0	2	3	0	3	8	0
Pukul : 07.30 - 08.30 (Pagi)												
Tipe Kendaraan	Pendekat Utara			Pendekat Selatan			Pendekat Timur			Pendekat Barat		
	LT	ST	RT	LT	ST	RT	LT	ST	RT	LT	ST	RT
Sepeda Motor	59	568	369	156	428	154	194	552	83	360	489	144
Kendaraan Ringan (LV)	28	146	63	48	147	31	34	88	35	77	84	33
Kendaraan Berat (HV)	8	13	0	6	10	3	2	1	1	2	0	8
Kendaraan Tak Bermotor (UM)	0	1	1	2	3	0	1	6	0	4	6	5
Pukul : 11.30 - 12.30 (Siang)												
Tipe Kendaraan	Pendekat Utara			Pendekat Selatan			Pendekat Timur			Pendekat Barat		
	LT	ST	RT	LT	ST	RT	LT	ST	RT	LT	ST	RT
Sepeda Motor	34	457	271	207	443	149	162	410	52	385	467	182
Kendaraan Ringan (LV)	29	175	72	44	148	27	25	94	25	88	89	38
Kendaraan Berat (HV)	3	12	1	9	5	0	1	1	0	2	0	18
Kendaraan Tak Bermotor (UM)	0	0	1	2	2	0	0	1	0	1	2	2
Pukul : 12.30 - 13.30 (Siang)												
Tipe Kendaraan	Pendekat Utara			Pendekat Selatan			Pendekat Timur			Pendekat Barat		
	LT	ST	RT	LT	ST	RT	LT	ST	RT	LT	ST	RT
Sepeda Motor	53	478	304	156	429	136	167	439	53	351	432	136
Kendaraan Ringan (LV)	20	191	82	45	138	28	37	95	29	85	73	70
Kendaraan Berat (HV)	1	15	1	7	7	0	1	3	2	1	5	8
Kendaraan Tak Bermotor (UM)	0	0	1	1	1	0	0	1	0	1	2	0
Pukul : 15.30 - 16.30 (Sore)												
Tipe Kendaraan	Pendekat Utara			Pendekat Selatan			Pendekat Timur			Pendekat Barat		
	LT	ST	RT	LT	ST	RT	LT	ST	RT	LT	ST	RT
Sepeda Motor	58	614	297	156	603	192	197	419	74	398	499	145
Kendaraan Ringan (LV)	31	185	65	42	154	34	34	84	23	103	93	74
Kendaraan Berat (HV)	1	11	2	9	6	1	2	1	8	1	3	7
Kendaraan Tak Bermotor (UM)	0	1	0	1	1	0	0	0	0	3	6	2
Pukul : 16.30 - 17.30 (Sore)												
Tipe Kendaraan	Pendekat Utara			Pendekat Selatan			Pendekat Timur			Pendekat Barat		
	LT	ST	RT	LT	ST	RT	LT	ST	RT	LT	ST	RT
Sepeda Motor	87	608	351	166	541	219	200	450	67	417	581	167
Kendaraan Ringan (LV)	28	178	57	40	140	38	34	80	29	70	97	62
Kendaraan Berat (HV)	0	11	1	6	5	0	0	1	0	0	2	6
Kendaraan Tak Bermotor (UM)	0	0	1	0	2	0	0	1	1	0	1	1

Lanjutan **Tabel 3.2.** Data Hasil Survei Lalu Lintas

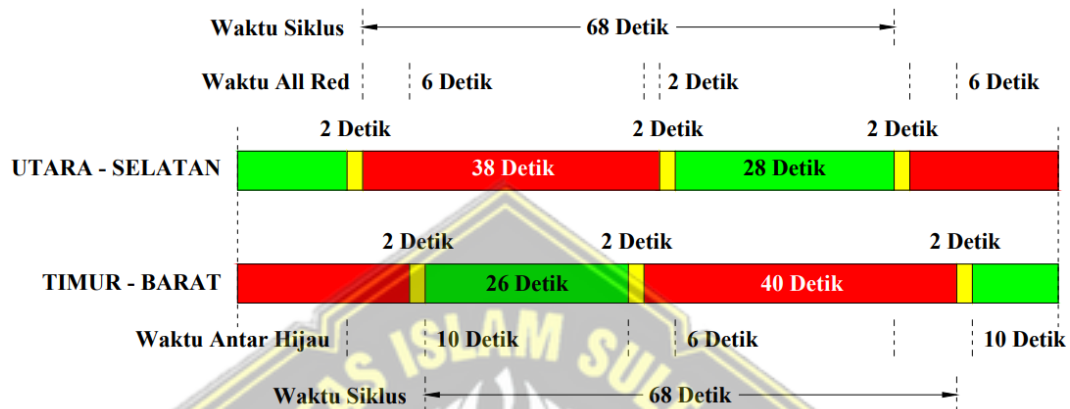
Hari, Tanggal : Senin, 10 Juli 2023												
Pukul : 06.30 - 07.30 (Pagi)												
Tipe Kendaraan	Pendekat Utara			Pendekat Selatan			Pendekat Timur			Pendekat Barat		
	LT	ST	RT	LT	ST	RT	LT	ST	RT	LT	ST	RT
Sepeda Motor	43	654	280	162	698	173	282	638	85	230	490	79
Kendaraan Ringan (LV)	18	97	21	37	110	22	26	117	30	31	100	35
Kendaraan Berat (HV)	3	7	1	3	1	0	0	4	0	0	1	0
Kendaraan Tak Bermotor (UM)	0	1	0	1	0	1	0	2	0	2	3	0
Pukul : 07.30 - 08.30 (Pagi)												
Tipe Kendaraan	Pendekat Utara			Pendekat Selatan			Pendekat Timur			Pendekat Barat		
	LT	ST	RT	LT	ST	RT	LT	ST	RT	LT	ST	RT
Sepeda Motor	45	613	290	144	564	105	227	576	81	245	434	96
Kendaraan Ringan (LV)	18	134	50	60	132	24	27	106	32	40	55	25
Kendaraan Berat (HV)	6	11	1	0	6	0	2	2	1	0	0	0
Kendaraan Tak Bermotor (UM)	0	1	1	0	0	1	1	3	0	2	1	0
Pukul : 11.30 - 12.30 (Siang)												
Tipe Kendaraan	Pendekat Utara			Pendekat Selatan			Pendekat Timur			Pendekat Barat		
	LT	ST	RT	LT	ST	RT	LT	ST	RT	LT	ST	RT
Sepeda Motor	82	438	234	167	399	108	177	362	46	327	431	114
Kendaraan Ringan (LV)	19	157	56	55	101	25	41	85	23	72	93	52
Kendaraan Berat (HV)	1	12	1	2	3	0	0	4	1	0	2	2
Kendaraan Tak Bermotor (UM)	1	0	0	0	4	0	0	1	1	3	0	3
Pukul : 12.30 - 13.30 (Siang)												
Tipe Kendaraan	Pendekat Utara			Pendekat Selatan			Pendekat Timur			Pendekat Barat		
	LT	ST	RT	LT	ST	RT	LT	ST	RT	LT	ST	RT
Sepeda Motor	55	388	262	133	378	111	157	387	71	293	394	134
Kendaraan Ringan (LV)	20	151	55	50	136	23	21	70	21	102	73	91
Kendaraan Berat (HV)	1	13	2	1	3	5	0	1	1	1	0	0
Kendaraan Tak Bermotor (UM)	0	0	0	0	1	0	0	1	0	1	0	1
Pukul : 15.30 - 16.30 (Sore)												
Tipe Kendaraan	Pendekat Utara			Pendekat Timur			Pendekat Selatan			Pendekat Barat		
	LT	ST	RT	LT	ST	RT	LT	ST	RT	LT	ST	RT
Sepeda Motor	75	691	365	183	655	154	259	468	87	341	535	139
Kendaraan Ringan (LV)	32	203	59	54	143	23	30	87	16	77	74	84
Kendaraan Berat (HV)	3	14	3	1	6	0	1	3	5	2	0	2
Kendaraan Tak Bermotor (UM)	0	0	0	0	3	1	0	0	0	1	1	1
Pukul : 16.30 - 17.30 (Sore)												
Tipe Kendaraan	Pendekat Utara			Pendekat Timur			Pendekat Selatan			Pendekat Barat		
	LT	ST	RT	LT	ST	RT	LT	ST	RT	LT	ST	RT
Sepeda Motor	83	738	404	184	650	144	271	458	89	409	639	193
Kendaraan Ringan (LV)	33	181	64	41	131	31	34	83	30	81	94	80
Kendaraan Berat (HV)	1	7	0	1	0	1	1	0	1	1	0	0
Kendaraan Tak Bermotor (UM)	0	0	1	1	2	1	3	3	0	0	1	0

Data Tabel 3.2. dan Lanjutan Tabel 3.2. di atas merupakan data hasil pengamatan (survei) langsung di lapangan yang telah dikomputerisasi dan direkap berdasarkan satuan per jam. Sebelumnya pengambilan data dilakukan dengan digitalisasi rekaman video melalui kamera, kemudian dimasukkan dalam formulir survei yang telah disiapkan sebelumnya oleh surveyor dengan interval waktu 15 menit. Data per 15 menit yang telah dikomputerisasi terlampir dalam Lampiran.

3.6. Waktu Sinyal

Data penggunaan sinyal lalu lintas diamati oleh peneliti secara langsung di lapangan dibantu oleh *stopwatch*, dengan menghitung durasi berapa lama sinyal lalu lintas pada setiap pendekat dalam satuan detik.

Waktu sinyal yang berupa waktu hijau, waktu kuning, waktu merah, serta waktu antar hijau atau waktu hilang dari setiap pendekat terdapat di Gambar 3.3.



Gambar 3.3. Waktu Siklus Tiap Fase

3.7. Metode Analisa Data

Diaplikasikan metode analisa Manual Kapasitas Jalan Indonesia (MKJI) 1997 dan pada langkah-langkah analisa data yang dilakukan yaitu sebagai berikut:

Langkah I: Data masukan.

- Geometrik, pengaturan lalu lintas, dan kondisi lingkungan, berdasar hasil survei lapangan yang terdapat pada Tabel 3.1. dan Gambar 3.2.
- Data hasil survei jumlah kendaraan lalu lintas, tercantum pada Tabel 3.2.

Langkah II: Analisa arus lalu lintas.

- Analisa arus lalu lintas (jumlah unsur lalu lintas per satuan waktu), berdasar pada rumus 2.1.

Langkah III: Penggunaan sinyal.

- Fase sinyal, berdasar hasil survei lapangan yang tercantum pada Gambar 3.3.
- Waktu merah semua, waktu kuning, dan waktu antar hijau, berdasar hasil survei lapangan yang tercantum pada Gambar 3.3.
- Waktu hilang, berdasar pada rumus 2.12.

Langkah IV: Penentuan waktu sinyal, kapasitas, dan derajat kejenuhan.

- Arus jenuh dasar, berdasar grafik pada rumus 2.13 dan Gambar 2.19.

- b) Faktor-faktor kesesuaian, berdasar pada Sub Bab 2.3. atau berdasar pada Tabel 2.3 (F_{CS}), Tabel 2.4. (F_{SF}), Gambar 2.20 (F_G), Gambar 2.21 (F_P), Gambar 2.22 (F_{RT}), dan Gambar 2.23 (F_{LT}).
- c) Nilai arus jenuh yang disesuaikan, berdasar pada rumus 2.14.
- d) Rasio arus/arus jenuh, berdasar pada rumus 2.15.
- e) Rasio arus persimpangan, berdasar pada rumus 2.16.
- f) Rasio fase, berdasar pada rumus 2.17.
- g) Waktu siklus dan waktu hijau, berdasar pada rumus 2.20, 2.21., dan 2.22.
- h) Kapasitas dan derajat kejenuhan, berdasar pada rumus 2.4 dan 2.5.

Langkah V: Tingkat kinerja.

- a) Panjang antrian, berdasar pada rumus 2.23, 2.24, 2.25., 2.26, dan 2.27.
- b) Kendaraan terhenti, berdasar pada rumus 2.28, 2.29, dan 2.30.
- c) Tundaan, berdasar pada rumus 2.31, 2.32, dan 2.33.

Lembar formulir yang digunakan dalam analisa perhitungan kinerja persimpangan bersinyal Jati Raya berpedoman pada Manual Kapasitas Jalan Indonesia (MKJI) 1997, adalah sebagai berikut:

- SIG-I: Geometrik, pengaturan lalu lintas, dan kondisi lingkungan;
- SIG-II: Arus lalu lintas;
- SIG-III: Waktu antar hijau dan waktu hilang;
- SIG-IV: Kapasitas dan derajat kejenuhan;
- SIG-V: Panjang antrian, jumlah kendaraan terhenti, dan tundaan.

Tabel 3.3. Contoh Formulir SIG-I

SIMPANG BERSINYAL Formulir SIG-I: GEOMETRI PENGATURAN LALU LINTAS LINGKUNGAN					Tanggal:		Ditangani oleh:				
					Kota:						
					Simpang:						
					Ukuran kota:						
					Perihal:						
						Periode:					
KONDISI LAPANGAN											
Kode pendekat	Tipe lingkungan jalan	Hambatan samping Tinggi/Rendah	Median Ya/Tidak	Kelandaian +/- %	Belok-kiri langsung Ya/Tidak	Jarak ke kendaraan parkir (m)	Lebar pendekat (m)				
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	Pendekat W_A	Masuk W_{MASUK}	Belok kiri langsung W_{LTOR}	Keluar W_{KELUAR}	

Tabel 3.4. Contoh Formulir SIG-II

SIMPANG BERSINYAL Formulir SIG-II: ARUS LALU LINTAS					Tanggal:					Ditangani oleh:											
					Kota:																
					Simpang:					Perihal:											
										Periode:											
Kode Pen-dekat	Arah	ARUS LALU LINTAS BERMOTOR (MM)															KEND. TAK BERMOTOR				
		Kendaraan ringan (LV) emp terlindung = 1,0 emp terlawan = 1 0				Kendaraan berat (HV) emp terlindung = 1,3 emp terlawan = 1,3				Sepeda Motor (MC) emp terlindung = 0,2 emp terlawan = 0,4				Kendaraan total MV bermotor				Rasio berbelok		Arus UM	Rasio UM/MV
		kend/jam	smp/jam		kend/jam	Smp/jam		kend/jam	smp/jam		kend/jam	Smp/jam		P _{LT} Rms (13)		P _{RT} Rms (14)					
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)	(12)	(13)	(14)	(15)	(16)	(17)	(18)				
	LT/LTOR																				
	ST																				
	RT																				
	Total																				
	LT/LTOR																				
	ST																				
	RT																				
	Total																				
	LT/LTOR																				
	ST																				
	RT																				
	Total																				
	LT/LTOR																				
	ST																				
	RT																				
	Total																				

Tabel 3.5. Contoh Formulir SIG-III

SIMPANG BERSINYAL Formulir SIG-III : WAKTU ANTAR HIJAU WAKTU HILANG			Tanggal:					Ditangani oleh:						
			Kota:											
			Simpang:					Perihal:						
LALU LINTAS BERANGKAT			LALU LINTAS DATANG										Waktu merah semua (det)	
Pendekat	Kecepatan V _E m/det		Pendekat	S	T	B								
			Kecepatan V _A m/det											
			Jarak berangkat-datang (m)*											
			Waktu berangkat-datang (det)**											
			Jarak berangkat-datang (m)											
			Waktu berangkat-datang (det)											
			Jarak berangkat-datang (m)											
			Waktu berangkat-datang (det)											
			Jarak berangkat-datang (m)											
			Waktu berangkat-datang (det)											
			Jarak berangkat-datang (m)											
			Waktu berangkat-datang (det)											
			Jarak berangkat-datang (m)											
			Waktu berangkat-datang (det)											
			Penentuan waktu merah semua Fase 1 --> Fase 2 Fase 2 --> Fase 3 Fase 3 --> Fase 4 Fase 4 --> Fase 1 Waktu kuning total (3 deVfase) Waktu hilang total (LTI) = Merah semua total + waktu kuning (det/siklus)											

Tabel 3.6. Contoh Formulir SIG-IV

[illegible]

Tabel 3.7. Contoh Formulir SIG-V

[illegible]

BAB IV

ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN

4.1. Data Masukan

4.1.1. Data Geometrik

Data geometrik berasal dari data primer berupa pengukuran secara langsung di lapangan, meliputi lebar pendekat (W_a), lebar masuk (W_{masuk}), W_{LTOR} , lebar keluar (W_{keluar}), serta kondisi lingkungan. Data geometrik tersebut ditunjukkan pada Tabel 4.1. maupun Formulir SIG-I di bawah ini.

Tabel 4.1. Data Geometrik (SIG-I)

Kode Pendekat	Tipe Lingkungan Jalan	Hambatan Samping Tinggi/Rendah	Median Ya/Tidak	Belok Kiri Langsung Ya/Tidak	Jarak ke Kendaraan Parkir	Lebar Pendekat			
						W_a	W_{masuk}	W_{LTOR}	W_{keluar}
Utara	Com	R	T	T	-	7,0	3,5	-	3,5
Selatan	Com	R	T	T	-	7,0	3,5	-	3,5
Timur	Com	R	T	T	-	7,0	3,5	-	3,5
Barat	Com	R	T	T	-	7,0	3,5	-	3,5

4.1.2. Data Hasil Survei Lalu Lintas

Data hasil survei lalu lintas diambil dari berapa banyak macam kendaraan yang melintas di setiap pendekat persimpangan. Penelitian ini menampung data arus lalu lintas yang jenisnya kendaraan ringan (LV, *Light Vehicle*), kendaraan berat (HV, *Heavy Vehicle*), sepeda motor (MC, *Motor Cycle*), dan kendaraan tidak bermotor (UM, *Un Motorized*). Masing-masing kendaraan tersebut yang melintas dibagi menjadi tiga arah, yaitu belok ke arah kiri (LT), ke arah lurus (ST), dan belok ke arah kanan (RT). Untuk rincian data hasil survei lalu lintas dengan satuan kendaraan/jam tersebut telah ditampilkan pada Tabel 3.2. di bab sebelumnya.

4.2. Analisa Arus Lalu Lintas

Analisa data yang tercantum di penelitian ini memakai sampel data lalu lintas terpadat, dimana diperoleh jam puncak pada hari Senin, 10 Juli 2023 (hari kerja) pukul 16.30 – 17.30 di sore hari, sedangkan analisa data secara keseluruhan terlampir dalam Lampiran.

Rincian data hasil survei lalu lintas dengan satuan kendaraan/jam di jam puncak tersebut ditunjukkan pada Tabel 4.2. di bawah ini.

Tabel 4.2. Data Volume Kendaraan

Hari, Tanggal	: Senin, 10 Juli 2023											
Pukul	: 16.30 - 17.30 (Sore)											
Tipe Kendaraan	Pendekat Utara			Pendekat Timur			Pendekat Selatan			Pendekat Barat		
	LT	ST	RT	LT	ST	RT	LT	ST	RT	LT	ST	RT
Sepeda Motor	83	738	404	184	650	144	271	458	89	409	639	193
Kendaraan Ringan (LV)	33	181	64	41	131	31	34	83	30	81	94	80
Kendaraan Berat (HV)	1	7	0	1	0	1	1	0	1	1	0	0
Kendaraan Tak Bermotor (UM)	0	0	1	1	2	1	3	3	0	0	1	0

Nilai arus lalu lintas dibedakan dengan emp yang ada di lapangan, yaitu terlindung dan terlawan dalam satuan smp/jam. Pada persimpangan bersinyal Jati Raya, digunakan emp terlawan karena timbul konflik antara unsur lalu lintas yang belok kanan dengan yang melaju lurus maupun belok kiri dari pendekat yang berlainan ketika lampu hijau di fase serupa. Nilai emp terlawan yaitu sebagai berikut:

- emp terlawan dari Kendaraan ringan (LV) = 1,0;
- emp terlawan dari Kendaraan berat (HV) = 1,3;
- emp terlawan dari Sepeda Motor (MC) = 0,4;

Analisa penghitungan arus lalu lintas pada persimpangan bersinyal Jati Raya ditunjukkan pada perhitungan di bawah ini.

- Arus lalu lintas pendekat utara pada Senin sore (16.30 – 17.30),

- a) Kendaraan ringan (LV) dengan emp terlawan sebesar 1,0:

$$LT : 33 \text{ (kend/jam)} \cdot 1,0 = 33 \text{ (smp/jam);}$$

$$ST : 181 \cdot 1,0 = 181 \text{ ;}$$

$$RT : 64 \cdot 1,0 = 64 \text{ ;}$$

$$\text{Total} = 278 \text{ (smp/jam).}$$

- b) Kendaraan berat (LV) dengan emp terlawan sebesar 1,3:

$$LT : 1 \text{ (kend/jam)} \cdot 1,3 = 1,3 \text{ (smp/jam);}$$

$$ST : 7 \cdot 1,3 = 9,1 \text{ ;}$$

$$RT : 0 \cdot 1,3 = 0 \text{ ;}$$

$$\text{Total} = 10,4 \text{ (smp/jam).}$$

- c) Sepeda motor (MC) dengan emp terlawan sebesar 0,4:

$$LT : 83 \text{ (kend/jam)} \cdot 0,4 = 33,2 \text{ (smp/jam);}$$

$$ST : 738 \cdot 0,4 = 295,2 \text{ ;}$$

$$RT : 404 \cdot 0,4 = 161,6 \text{ ;}$$

$$\text{Total} = 490 \text{ (smp/jam).}$$

- Arus lalu lintas pendekat selatan pada Senin sore (16.30 – 17.30),

a) Kendaraan ringan (LV) dengan emp terlawan sebesar 1,0:

$$LT : 41 \text{ (kend/jam)} \cdot 1,0 = 41 \text{ (smp/jam)};$$

$$ST : 131 \cdot 1,0 = 131 \quad ;$$

$$RT : 31 \cdot 1,0 = 31 \quad ;$$

$$\text{Total} = 203 \text{ (smp/jam)}.$$

b) Kendaraan berat (LV) dengan emp terlawan sebesar 1,3:

$$LT : 1 \text{ (kend/jam)} \cdot 1,3 = 1,3 \text{ (smp/jam)};$$

$$ST : 0 \cdot 1,3 = 0 \quad ;$$

$$RT : 1 \cdot 1,3 = 1,3 \quad ;$$

$$\text{Total} = 2,6 \text{ (smp/jam)}.$$

c) Sepeda motor (MC) dengan emp terlawan sebesar 0,4:

$$LT : 184 \text{ (kend/jam)} \cdot 0,4 = 73,6 \text{ (smp/jam)};$$

$$ST : 650 \cdot 0,4 = 260 \quad ;$$

$$RT : 144 \cdot 0,4 = 57,6 \quad ;$$

$$\text{Total} = 381,2 \text{ (smp/jam)}.$$

- Arus lalu lintas pendekat timur pada Senin sore (16.30 – 17.30),

a) Kendaraan ringan (LV) dengan emp terlawan sebesar 1,0:

$$LT : 34 \text{ (kend/jam)} \cdot 1,0 = 34 \text{ (smp/jam)};$$

$$ST : 83 \cdot 1,0 = 83 \quad ;$$

$$RT : 30 \cdot 1,0 = 30 \quad ;$$

$$\text{Total} = 147 \text{ (smp/jam)}.$$

b) Kendaraan berat (LV) dengan emp terlawan sebesar 1,3:

$$LT : 1 \text{ (kend/jam)} \cdot 1,3 = 1,3 \text{ (smp/jam)};$$

$$ST : 0 \cdot 1,3 = 0 \quad ;$$

$$RT : 1 \cdot 1,3 = 1,3 \quad ;$$

$$\text{Total} = 2,6 \text{ (smp/jam)}.$$

c) Sepeda motor (MC) dengan emp terlawan sebesar 0,4:

$$LT : 271 \text{ (kend/jam)} \cdot 0,4 = 108,4 \text{ (smp/jam)};$$

$$ST : 458 \cdot 0,4 = 183,2 \quad ;$$

$$RT : 89 \cdot 0,4 = 35,6 \quad ;$$

$$\text{Total} = 327,2 \text{ (smp/jam)}.$$

- Arus lalu lintas pendekat barat pada Senin sore (16.30 – 17.30),

a) Kendaraan ringan (LV) dengan emp terlawan sebesar 1,0:

$$LT : 81 \text{ (kend/jam)} \cdot 1,0 = 81 \text{ (smp/jam)};$$

$$ST : 94 \cdot 1,0 = 94 \quad ;$$

$$RT : 80 \cdot 1,0 = 80 \quad ;$$

$$\text{Total} = 255 \text{ (smp/jam)}.$$

b) Kendaraan berat (LV) dengan emp terlawan sebesar 1,3:

$$LT : 1 \text{ (kend/jam)} \cdot 1,3 = 1,3 \text{ (smp/jam)};$$

$$ST : 0 \cdot 1,3 = 0 \quad ;$$

$$RT : 0 \cdot 1,3 = 0 \quad ;$$

$$\text{Total} = 1,3 \text{ (smp/jam)}.$$

c) Sepeda motor (MC) dengan emp terlawan sebesar 0,4:

$$LT : 409 \text{ (kend/jam)} \cdot 0,4 = 163,6 \text{ (smp/jam)};$$

$$ST : 639 \cdot 0,4 = 255,6 \quad ;$$

$$RT : 193 \cdot 0,4 = 77,2 \quad ;$$

$$\text{Total} = 496,4 \text{ (smp/jam)}.$$

Setelah arus lalu lintas kendaraan bermotor dianalisa, langkah selanjutnya adalah menghitung total kendaraan bermotor sesuai sub bab 4.2.1. di bawah ini.

4.2.1. Total Kendaraan Bermotor (MV)

Total kendaraan bermotor didapat dari setiap hasil volume kendaraan, lalu ditotal setiap arus kendaraan (smp/jam) masing-masing pendekat, untuk selanjutnya dijumlahkan sesuai jenis kendaraan.

Pada penelitian ini didapat dengan emp terlawan, maka pada perhitungan total kendaraan bermotor menggunakan hasil dari arus kendaraan terlawan masing-masing jenis kendaraan pada setiap pendekat. Analisa perhitungan total kendaraan bermotor dapat dilihat di bawah ini.

- Total kendaraan bermotor pendekat utara pada Senin sore (16.30 – 17.30),

a) MV LT terlawan = Volume LV + Volume HV + Volume MC

$$= 33 + 1,3 + 33,2 = 67,5 \text{ (smp/jam)};$$

b) MV ST terlawan = 181 + 9,1 + 295,2 = 485,3 (smp/jam);

c) MV RT terlawan = 64 + 0 + 161,6 = 225,6 (smp/jam);

Jadi, total kendaraan bermotor (MV) terlawan pada pendekat utara, yaitu:

$$\begin{aligned}\text{MV total terlawan utara} &= \text{MV LT} + \text{MV ST} + \text{MV RT} \\ &= 67,5 + 485,3 + 225,6 = 778,4 \text{ (smp/jam)}.\end{aligned}$$

- Total kendaraan bermotor pendekat selatan pada Senin sore (16.30 – 17.30),

a) MV LT terlawan = Volume LV + Volume HV + Volume MC

$$= 41 + 1,3 + 73,6 = 115,9 \text{ (smp/jam)};$$

b) MV ST terlawan = 131 + 0 + 260 = 391 (smp/jam);

c) MV RT terlawan = 31 + 1,3 + 57,6 = 89,9 (smp/jam);

Jadi, total kendaraan bermotor (MV) terlawan pada pendekat selatan, yaitu:

$$\begin{aligned}\text{MV total terlawan selatan} &= \text{MV LT} + \text{MV ST} + \text{MV RT} \\ &= 115,9 + 391 + 89,9 = 596,8 \text{ (smp/jam)}.\end{aligned}$$

- Total kendaraan bermotor pendekat timur pada Senin sore (16.30 – 17.30),

a) MV LT terlawan = Volume LV + Volume HV + Volume MC

$$= 34 + 1,3 + 108,4 = 143,7 \text{ (smp/jam)};$$

b) MV ST terlawan = 83 + 0 + 183,2 = 266,2 (smp/jam);

c) MV RT terlawan = 30 + 1,3 + 35,6 = 66,9 (smp/jam);

Jadi, total kendaraan bermotor (MV) terlawan pada pendekat timur, yaitu:

$$\begin{aligned}\text{MV total terlawan timur} &= \text{MV LT} + \text{MV ST} + \text{MV RT} \\ &= 143,7 + 266,2 + 66,9 = 476,8 \text{ (smp/jam)}.\end{aligned}$$

- Total kendaraan bermotor pendekat barat pada Senin sore (16.30 – 17.30),

a) MV LT terlawan = Volume LV + Volume HV + Volume MC

$$= 81 + 1,3 + 163,6 = 245,9 \text{ (smp/jam)};$$

b) MV ST terlawan = 94 + 0 + 255,6 = 349,6 (smp/jam);

c) MV RT terlawan = 80 + 0 + 77,2 = 157,2 (smp/jam);

Jadi, total kendaraan bermotor (MV) terlawan pada pendekat barat, yaitu:

$$\begin{aligned}\text{MV total terlawan barat} &= \text{MV LT} + \text{MV ST} + \text{MV RT} \\ &= 245,9 + 349,6 + 157,2 = 752,7 \text{ (smp/jam)}.\end{aligned}$$

Setelah analisa perhitungan total kendaraan bermotor (MV), dilanjutkan dengan menghitung rasio berbelok seperti yang diuraikan pada sub bab 4.2.2. berikut.

4.2.2. Rasio Berbelok

Rasio berbelok didapat dari jumlah MV setiap arah dibagi dengan MV total. Untuk rasio berbelok akan terdapat dua hasil, yaitu rasio belok arak kiri (P_{LT}) dan rasio belok arah kanan (P_{RT}). Contoh analisa perhitungan adalah sebagai berikut.

- Rasio berbelok pendekat utara pada Senin sore (16.30 – 17.30),

$$a) P_{LT} = \frac{MV \text{ LT terlawan}}{MV \text{ total terlawan}} = \frac{117}{1511} = 0,077$$

$$b) P_{RT} = \frac{MV \text{ RT terlawan}}{MV \text{ total terlawan}} = \frac{468}{1511} = 0,310$$

- Rasio berbelok pendekat selatan pada Senin sore (16.30 – 17.30),

$$a) P_{LT} = \frac{MV \text{ LT terlawan}}{MV \text{ total terlawan}} = \frac{226}{1183} = 0,191$$

$$b) P_{RT} = \frac{MV \text{ RT terlawan}}{MV \text{ total terlawan}} = \frac{176}{1183} = 0,149$$

- Rasio berbelok pendekat timur pada Senin sore (16.30 – 17.30),

$$a) P_{LT} = \frac{MV \text{ LT terlawan}}{MV \text{ total terlawan}} = \frac{306}{967} = 0,316$$

$$b) P_{RT} = \frac{MV \text{ RT terlawan}}{MV \text{ total terlawan}} = \frac{120}{967} = 0,124$$

- Rasio berbelok pendekat barat pada Senin sore (16.30 – 17.30),

$$a) P_{LT} = \frac{MV \text{ LT terlawan}}{MV \text{ total terlawan}} = \frac{491}{1497} = 0,328$$

$$b) P_{RT} = \frac{MV \text{ RT terlawan}}{MV \text{ total terlawan}} = \frac{273}{1497} = 0,182$$

Langkah selanjutnya setelah melakukan analisa perhitungan rasio berbelok adalah menghitung perbandingan rasio kendaraan tak bermotor, seperti yang ditunjukkan pada sub bab 4.2.3. berikut ini.

4.2.3. Rasio Kendaraan Tak Bermotor

Analisa rasio kendaraan tak bermotor didapat dari banyaknya volume kendaraan tak bermotor setiap pendekat (kend/jam) dibagi dengan MV total (kend/jam).

Untuk analisa perhitungan tersebut ditunjukkan pada perhitungan di bawah ini.

- a) Banyaknya kendaraan tak bermotor pendekat utara

- $LT = 0$ (kend/jam);
- $ST = 0$ (kend/jam);
- $RT = 1$ (kend/jam).

Jumlah total kendaraan tak bermotor:

$$\begin{aligned}\text{Arus UM} &= \text{LT} + \text{ST} + \text{RT} \\ &= 0 + 0 + 1 = 1 \text{ (kend/jam)}.\end{aligned}$$

Nilai MV total (kend/jam) pada pendekat utara adalah 1511 kend/jam, yang diperoleh dari hasil jumlah volume kendaraan bermotor. Untuk selanjutnya, di bawah ini merupakan analisa perhitungan rasio kendaraan tak bermotor.

$$\text{Rasio kendaraan tak bermotor} = \frac{\text{Arus UM}}{\text{MV total}} = \frac{1}{1511} = 0,001$$

b) Banyaknya kendaraan tak bermotor pendekat selatan

- LT = 1 (kend/jam);
- ST = 2 (kend/jam);
- RT = 1 (kend/jam).

Jumlah total kendaraan tak bermotor:

$$\begin{aligned}\text{Arus UM} &= \text{LT} + \text{ST} + \text{RT} \\ &= 1 + 2 + 1 = 4 \text{ (kend/jam)}.\end{aligned}$$

Nilai MV total (kend/jam) pada pendekat selatan adalah 1183 kend/jam, yang diperoleh dari hasil jumlah volume kendaraan bermotor. Untuk selanjutnya, di bawah ini merupakan analisa perhitungan rasio kendaraan tak bermotor.

$$\text{Rasio kendaraan tak bermotor} = \frac{\text{Arus UM}}{\text{MV total}} = \frac{4}{1183} = 0,003$$

c) Banyaknya kendaraan tak bermotor pendekat timur

- LT = 3 (kend/jam);
- ST = 3 (kend/jam);
- RT = 0 (kend/jam).

Jumlah total kendaraan tak bermotor:

$$\begin{aligned}\text{Arus UM} &= \text{LT} + \text{ST} + \text{RT} \\ &= 3 + 3 + 0 = 6 \text{ (kend/jam)}.\end{aligned}$$

Nilai MV total (kend/jam) pada pendekat timur adalah 967 kend/jam, yang diperoleh dari hasil jumlah volume kendaraan bermotor. Untuk selanjutnya, di bawah ini merupakan analisa perhitungan rasio kendaraan tak bermotor.

$$\text{Rasio kendaraan tak bermotor} = \frac{\text{Arus UM}}{\text{MV total}} = \frac{6}{967} = 0,006$$

d) Banyaknya kendaraan tak bermotor pendekat barat

- LT = 0 (kend/jam);
- ST = 1 (kend/jam);
- RT = 0 (kend/jam).

Jumlah total kendaraan tak bermotor:

$$\text{Arus UM} = \text{LT} + \text{ST} + \text{RT}$$

$$= 0 + 1 + 0 = 1 \text{ (kend/jam)}.$$

Nilai MV total (kend/jam) pada pendekat barat adalah 1497 kend/jam, yang diperoleh dari hasil jumlah volume kendaraan bermotor. Untuk selanjutnya, di bawah ini merupakan analisa perhitungan rasio kendaraan tak bermotor.

$$\text{Rasio kendaraan tak bermotor} = \frac{\text{Arus UM}}{\text{MV total}} = \frac{1}{1497} = 0,001$$

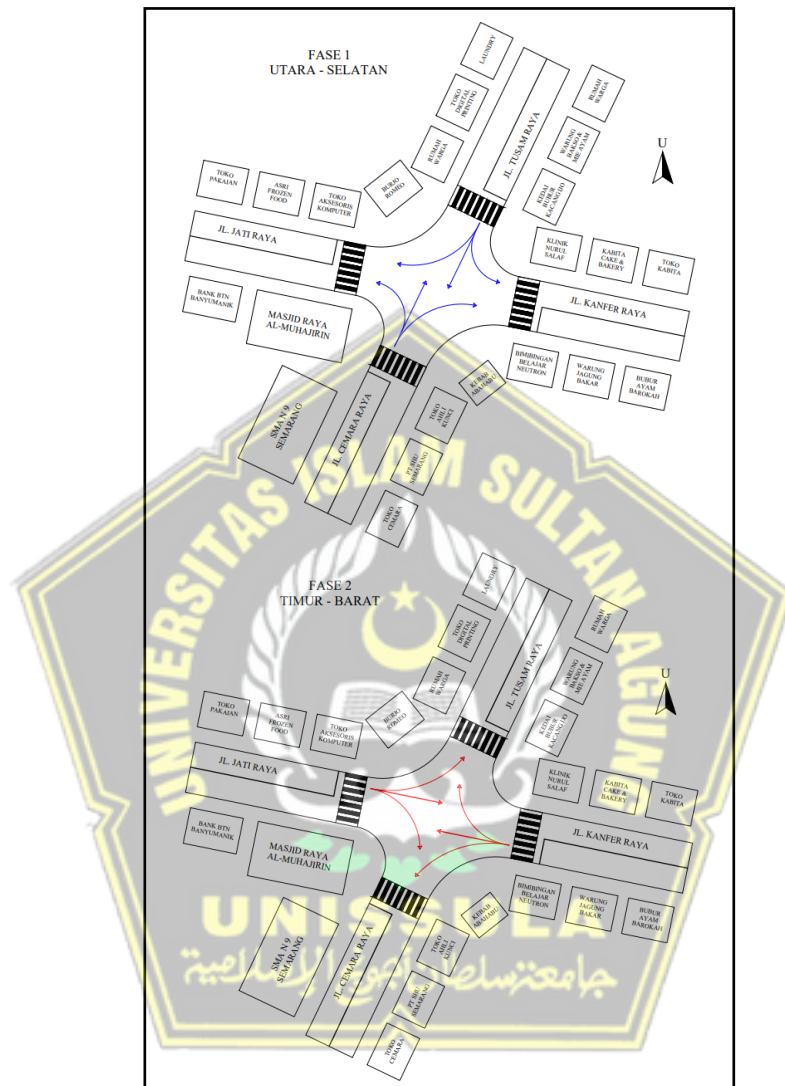
Setelah keseluruhan perhitungan arus lalu lintas saat periode puncak hari Senin, 10 Juli 2023 pukul 16.30 – 17.30 (hari kerja di sore hari) telah dianalisa, selanjutnya direkapitulasi dalam Tabel 4.3. atau Formulir SIG-II berikut ini.

Tabel 4.3. Analisa Arus Lalu Lintas (SIG-II)

Kode Pendekat	Arah	Arus Lalu Lintas Kendaraan Bermotor (MV)										Tak Bermotor	
		Kend. Ringan (LV)		Kend. Berat (HV)		Spd. Motor (MC)		Kendaraan Bermotor Total (MV)		Rasio Berbelok		Arus UM	Rasio UM/MV
		emp terlindung = 1,0 emp terlawan = 1,0		emp terlindung = 1,3 emp terlawan = 1,3		emp terlindung = 0,2 emp terlawan = 0,4							
		kend/ jam	smp/jam Terlawan	kend/ jam	smp/jam Terlawan	kend/ jam	smp/jam Terlawan	kend/ jam	smp/jam Terlawan	PLT	PRT		
U	LT	33	33	1	1,3	83	33,2	117	67,5	0,077		0	
	ST	181	181	7	9,1	738	295,2	926	485,3			0	
	RT	64	64	0	0	404	161,6	468	225,6		0,310	1	
	Total	278	278	8	10,4	1225	490	1511	778,4			1	0,001
S	LT	41	41	1	1,3	184	73,6	226	115,9	0,191		1	
	ST	131	131	0	0	650	260	781	391			2	
	RT	31	31	1	1,3	144	57,6	176	89,9		0,149	1	
	Total	203	203	2	2,6	978	391,2	1183	596,8			4	0,003
T	LT	34	34	1	1,3	271	108,4	306	143,7	0,316		3	
	ST	83	83	0	0	458	183,2	541	266,2			3	
	RT	30	30	1	1,3	89	35,6	120	66,9		0,124	0	
	Total	147	147	2	2,6	818	327,2	967	476,8			6	0,006
B	LT	81	81	1	1,3	409	163,6	491	245,9	0,328		0	
	ST	94	94	0	0	639	255,6	733	349,6			1	
	RT	80	80	0	0	193	77,2	273	157,2		0,182	0	
	Total	255	255	1	1,3	1241	496,4	1497	752,7			1	0,001

4.3. Penggunaan Sinyal

Data penggunaan sinyal lalu lintas diamati oleh peneliti secara langsung di lapangan dibantu oleh *stopwatch*, dengan menghitung durasi berapa lama sinyal lalu lintas pada setiap pendekat dalam satuan detik.



Gambar 4.1. Pengaturan Fase Persimpangan Bersinyal Jati Raya

Pengaturan fase sinyal pada persimpangan bersinyal Jati Raya terdiri dari dua fase, yaitu fase 1 (satu) untuk pendekat utara – selatan dan fase 2 (dua) untuk pendekat timur – barat, yang telah ditampilkan pada Gambar 4.1. di atas.

Waktu siklus sinyal yaitu berupa waktu hijau, waktu kuning, waktu merah, serta waktu antar hijau atau waktu hilang dari setiap pendekat. Durasi waktu siklus telah diperoleh dari data primer melalui survei lapangan yaitu pada Gambar 3.3., yang mana dapat dimasukkan dalam Tabel 4.4. atau Formulir SIG-III di bawah ini.

Tabel 4.4. Waktu Siklus Tiap Fase (SIG-III)

Lalu Lintas Berangkat		Lalu Lintas Datang					Waktu Merah Semua (det)
Pendekat	Kecepatan	Pendekat	U	S	T	B	
	VE m/det	Kecepatan VA m/det	10	10	10	10	
		Jarak berangkat-datang (m)					
U	10	Waktu berangkat-datang (det)					
		Jarak berangkat-datang (m)					
S	10	Waktu berangkat-datang (det)					
		Jarak berangkat-datang (m)					
T	10	Waktu berangkat-datang (det)					
		Jarak berangkat-datang (m)					
B	10	Waktu berangkat-datang (det)					
		Penentuan Waktu Merah Semua					
		Fase 1 → Fase 2					2,0
		Fase 2 → Fase 1					6,0
		Waktu Kuning Total (3 det/fase)					6,0
		Waktu Hilang Total (LTI) = Merah Semua Total + Waktu Kuning (det/siklus)					14,0

Setelah data penggunaan sinyal yang ada di lapangan telah ditabulasi pada Tabel 4.4. atau Formulir SIG-III, langkah selanjutnya yaitu menganalisa perhitungan arus jenuh agar dapat menentukan nilai kapasitas dan derajat kejenuhan. Lebih rincinya dapat disimak pada sub bab 4.4. di bawah ini.

4.4. Penentuan Waktu Sinyal, Kapasitas, dan Derajat Kejenuhan

4.4.1. Arus Jenuh Dasar (So)

Pada persimpangan bersinyal Jati Raya, keempat lengan persimpangan memiliki lebar efektif jalan (W_e) yaitu sebesar 3,5 m. Dengan demikian analisa perhitungannya adalah sebagai berikut.

- So utara = $600 \cdot W_e$
= $600 \cdot 3,5 = 2100$ (smp/jam)
- So selatan = $600 \cdot 3,5 = 2100$ (smp/jam)
- So timur = $600 \cdot 3,5 = 2100$ (smp/jam)
- So barat = $600 \cdot 3,5 = 2100$ (smp/jam)

4.4.2. Faktor Kesesuaian

4.4.2.1. Faktor Kesesuaian Ukuran Kota (F_{Cs})

Nilai faktor kesesuaian ukuran kota (F_{Cs}) diambil dari berapa banyaknya penduduk pada suatu kota. Menurut catatan Badan Pusat Statistik (BPS) tahun 2022, Semarang memiliki penduduk mencapai 1,65 juta jiwa. Sesuai yang tercantum pada Tabel 2.3. mengacu pada MKJI 1997, ini berarti Semarang termasuk dalam kategori kota besar, sehingga diperoleh nilai F_{Cs} sebesar 1,00.

4.4.2.2. Faktor Kesesuaian Hambatan Samping (F_{SF})

Nilai faktor kesesuaian hambatan samping (F_{SF}) difungsinya sebagai indikator dari kondisi lingkungan jalan, adanya hambatan samping, dan rasio kendaraan tak bermotor. Hambatan samping dapat berpengaruh terhadap kinerja lalu lintas dari beragam kegiatan yang ada di sisi samping ruas jalan.

Sesuai dengan yang diamati oleh peneliti, wilayah persimpangan bersinyal Jati Raya termasuk dalam lingkungan jalan komersial (COM), dengan hambatan samping yang rendah, serta tipe fase terlawan. Nilai rasio kendaraan tak bermotor dilihat pada Tabel 4.3. yaitu kisaran 0,001 hingga 0,006. Dengan demikian, sesuai yang tercantum pada Tabel 2.4. mengacu pada MKJI 1997, diperoleh nilai faktor kesesuaian hambatan samping (F_{SF}) yaitu sebesar 0,95.

4.4.2.3. Faktor Kesesuaian Kelandaian (F_G)

Nilai faktor kesesuaian kelandaian (F_G) dapat dilihat dari besarnya nilai kemiringan turunan (%) dan tanjakan (%). Pada persimpangan bersinyal Jati Raya diperoleh nilai faktor kelandaian (F_G) sebesar 1,0.

4.4.2.4. Faktor Kesesuaian Parkir (F_P)

Nilai faktor kesesuaian parkir (F_P) ditetapkan mulai jarak garis henti kendaraan yang terparkir dengan lebar pendekat. Pada persimpangan bersinyal Jati Raya didapat nilai faktor kesesuaian parkir (F_P) yaitu sebesar 1,0.

4.4.2.5. Faktor Kesesuaian Belok Kanan (F_{RT})

Faktor kesesuaian belok kanan (F_{RT}) dikhususkan bagi pendekat tipe P (*protected*) atau terlindung, sehingga nilai F_{RT} untuk persimpangan bersinyal Jati Raya yang bertipe terlawan dianggap sebesar 1,0.

4.4.2.6. Faktor Kesesuaian Belok Kiri (F_{LT})

Analisa perhitungan faktor kesesuaian belok kiri (F_{LT}) dikhususkan bagi pendekat tipe P (*protected*) atau terlindung, sehingga nilai F_{LT} untuk persimpangan bersinyal Jati Raya yang bertipe terlawan adalah sebesar 1,0.

4.4.3. Nilai Arus Jenuh yang Disesuaikan (S)

Setelah keseluruhan nilai faktor kesesuaian diperoleh, semua nilai dimasukkan pada rumus arus jenuh tiap pendekat (rumus 2.14) dan didapat hasil di bawah ini.

- S utara = $S_O \cdot F_{CS} \cdot F_{SF} \cdot F_G \cdot F_P \cdot F_{RT} \cdot F_{LT}$
= $2100 \cdot 1,0 \cdot 0,95 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 1,0 = 1995$ (smp/jam)
- S selatan = $2100 \cdot 1,0 \cdot 0,95 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 1,0 = 1995$ (smp/jam)
- S timur = $2100 \cdot 1,0 \cdot 0,95 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 1,0 = 1995$ (smp/jam)
- S barat = $2100 \cdot 1,0 \cdot 0,95 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 1,0 = 1995$ (smp/jam)

Apabila nilai arus jenuh didapatkan, langkah yang dilakukan selanjutnya adalah menghitung rasio arus (FR) sesuai rumus 2.15. di bawah ini.

4.4.4. Rasio Arus Jenuh (FR)

Rasio arus adalah hasil bagi antara arus lalu lintas (Q) dan nilai arus jenuh yang telah disesuaikan (S) dengan analisa perhitungan masing-masing pendekat seperti di bawah ini.

- FR utara = $\frac{Q}{S} = \frac{778,4}{1995} = 0,390$
- FR selatan = $\frac{Q}{S} = \frac{596,8}{1995} = 0,299$
- FR timur = $\frac{Q}{S} = \frac{476,8}{1995} = 0,239$
- FR barat = $\frac{Q}{S} = \frac{752,7}{1995} = 0,377$

4.4.5. Rasio Arus Persimpangan (IFR)

Nilai rasio arus persimpangan (IFR) didapat dari penjumlahan dua nilai perbandingan arus jenuh yang terbesar dari fase yang sama (FR_{CRLT}) sesuai pada rumus 2.16 mengacu pada metode MKJI 1997. Analisa perhitungan bisa dilihat berikut ini.

FR utara > FR selatan (**0,390** > 0,299)

FR timur < **FR barat** (0,239 < **0,377**), sehingga:

$$IFR = \Sigma(FR_{CRLT})$$

$$= FR \text{ utara} + FR \text{ barat} = 0,390 + 0,377 = 0,767$$

4.4.6. Rasio Fase (PR)

Nilai rasio fase (PR) diperoleh dari hasil bagi antara dua nilai rasio arus jenuh yang terbesar dari fase yang sama (FR_{CRLT}) dan nilai rasio arus persimpangan (IFR) sesuai pada rumus 2.17. Analisa perhitungan dapat dilihat di bawah ini.

- PR utara = $\frac{FR_{CRLT}}{IFR} = \frac{0,767}{0,390} = 0,508$
- PR barat = $\frac{FR_{CRLT}}{IFR} = \frac{0,767}{0,377} = 0,492$

4.4.7. Waktu Siklus (c) dan Waktu Hijau (g)

Durasi waktu siklus dan waktu hijau ditampilkan pada Gambar 3.3. dan Tabel 4.4. atau Formulir SIG-III di sub bab 4.3. di atas, yang mana tercatat waktu siklus total yaitu 68 detik serta waktu hijaunya selama 28 detik (pendekat utara – selatan) dan 26 detik (pendekat timur – barat).

4.4.8. Kapasitas (C)

Untuk analisa kapasitas pada persimpangan bersinyal Jati Raya dapat dilihat dari perhitungan di bawah ini, mengacu pada rumus 2.4.

- C utara = $S \times \frac{g}{c} = 1995 \times \frac{28}{68} = 821,471 \text{ smp/jam}$
- C selatan = $S \times \frac{g}{c} = 1995 \times \frac{28}{68} = 821,471 \text{ smp/jam}$
- C timur = $S \times \frac{g}{c} = 1995 \times \frac{26}{68} = 762,794 \text{ smp/jam}$
- C barat = $S \times \frac{g}{c} = 1995 \times \frac{26}{68} = 762,794 \text{ smp/jam}$

4.4.9. Derajat Kejenuhan (DS)

Nilai derajat kejenuhan (DS) diperoleh dari perbandingan antara nilai arus lalu lintas (Q) dan kapasitas (C) tiap pendekatnya, sesuai pada rumus 2.5. Analisa perhitungan derajat kejenuhan pada persimpangan bersinyal Jati Raya dapat dilihat di bawah ini.

- DS utara = $\frac{Q}{C} = \frac{778,4}{821,471} = 0,948$
- DS selatan = $\frac{Q}{C} = \frac{596,8}{821,471} = 0,727$
- DS timur = $\frac{Q}{C} = \frac{476,8}{762,794} = 0,625$
- DS barat = $\frac{Q}{C} = \frac{752,7}{762,794} = 0,987$

Setelah keseluruhan perhitungan pada waktu jam puncak hari Senin, 10 Juli 2023 (hari kerja) pukul 16.30 – 17.30 di sore hari untuk sub bab 4.4. telah dianalisa, selanjutnya direkapitulasi dalam Tabel 4.5. atau Formulir SIG-IV di bawah ini.

Tabel 4.5. Penentuan Waktu Siklus, Kapasitas, Derajat Kejenuhan (SIG-IV)

Kode Pendekat	Hijau dalam Fase No.	Tipe Pendekat	Rasio Kendaraan Berbelok			Arus RT (smp/jam)		Lebar Efektif (m)	Arus Jenuh smp/jam Hijau								Arus Lalu Lintas (smp/jam)	Rasio Arus FR	Rasio Fase = F_{rcrit} / IFR	Waktu Hijau (det)	Kapasitas (smp/jam) $S \times g/c$	Derajat Kejenuhan DS		
									Nilai Dasar smp/jam Hijau	Faktor-faktor Penyesuaian						Nilai Disesuaikan smp/jam Hijau								
										Semua Tipe Pendekat				Hanya Tipe P										
			Uk. Kota	Hamb. Samp	Kelandaian	Parkir	Belok Kanan	Belok Kiri																
			PLTOR	PLT	PRT	QRT	QRTO	We	So	FCS	FSF	FG	FP	FRT	FLT	S	Q	Q/S	PR	g	C	Q/C		
U	1	O	-	0,077	0,310	225,6	89,9	3,5	2100	1,00	0,95	1,00	1,00	1,00	1,00	1995	778,4	0,390	0,508	28	821,471	0,948		
S	1	O	-	0,191	0,149	89,9	225,6	3,5	2100	1,00	0,95	1,00	1,00	1,00	1,00	1995	596,8	0,299		28	821,471	0,727		
T	2	O	-	0,316	0,124	66,9	157,2	3,5	2100	1,00	0,95	1,00	1,00	1,00	1,00	1995	476,8	0,239		26	762,794	0,625		
B	2	O	-	0,328	0,182	157,2	66,9	3,5	2100	1,00	0,95	1,00	1,00	1,00	1,00	1995	752,7	0,377	0,492	26	762,794	0,987		
Waktu Hilang Total LTI (det)			14,0		Waktu Siklus Pra-Penyesuaian c_{ua} (det)												IFR =							
					Waktu Siklus Disesuaikan c (det)				68,00								ΣF_{rcrit}							

4.5. Panjang Antrian

Untuk memperoleh hasil dari panjang antrian, diperlukan adanya hasil perhitungan rasio hijau (GR), jumlah kendaraan antri (NQ), dan nilai NQ_{max} sesuai pada rumus 2.23, 2.24, 2.26, dan 2.27, serta Gambar 2.26. mengacu pada MKJI 1997.

Analisa perhitungan tertera di sub bab 4.5.1. sampai 4.5.4. di bawah ini.

4.5.1. Rasio Hijau (GR)

Nilai rasio hijau (GR) dari masing-masing pendekat didapat dari hasil pembagian antara waktu hijau (g) serta waktu siklus (c) pada simpang (MKJI, 1997), yang mana nilai tersebut dapat disaksikan pada Tabel 4.5. yang telah direkapitulasi. Analisa perhitungan dari rasio hijau adalah sebagai berikut.

- GR utara $= \frac{g}{c} = \frac{28}{68} = 0,41$
- GR selatan $= \frac{g}{c} = \frac{28}{68} = 0,41$
- GR timur $= \frac{g}{c} = \frac{26}{68} = 0,38$
- GR barat $= \frac{g}{c} = \frac{26}{68} = 0,38$

Jadi, nilai rasio hijau (GR) diperoleh sebesar 0,41 untuk pendekat utara dan selatan serta 0,38 untuk pendekat timur dan barat. Langkah selanjutnya yaitu melakukan perhitungan NQ1 dan NQ2 untuk menganalisa banyaknya kendaraan antri (NQ), dengan langkah yang diuraikan pada sub bab 4.5.2. di bawah ini.

4.5.2. Jumlah Kendaraan Antri (NQ)

Jumlah rerata antrian saat mulainya sinyal hijau (NQ) dihitung sebagai jumlah smp yang tersisa dari fase hijau yang sudah ada sebelumnya (NQ1) dijumlahkan banyaknya smp yang tiba saat fase merah (NQ2) sesuai rumus 2.23., 2.24., dan 2.26. (MKJI, 1997). Analisa perhitungan NQ1 dan NQ2 ditunjukkan sebagai berikut.

- NQ1 utara $= 0,25 \cdot C \left[(DS - 1) + \sqrt{(DS - 1)^2 + \frac{8 \cdot (DS - 0,5)}{C}} \right]$
 $= 0,25 \cdot 821,471 \left[(0,948 - 1) + \sqrt{(0,948 - 1)^2 + \frac{8 \cdot (0,948 - 0,5)}{821,471}} \right]$
 $= 6,5 \text{ smp}$
- NQ1 selatan $= 0,25 \cdot 821,471 \left[(0,727 - 1) + \sqrt{(0,727 - 1)^2 + \frac{8 \cdot (0,727 - 0,5)}{821,471}} \right]$
 $= 0,8 \text{ smp}$
- NQ1 timur $= 0,25 \cdot 762,794 \left[(0,625 - 1) + \sqrt{(0,625 - 1)^2 + \frac{8 \cdot (0,625 - 0,5)}{762,794}} \right]$
 $= 0,3 \text{ smp}$
- NQ1 barat $= 0,25 \cdot 762,794 \left[(0,987 - 1) + \sqrt{(0,987 - 1)^2 + \frac{8 \cdot (0,987 - 0,5)}{762,794}} \right]$
 $= 11,3 \text{ smp}$

Setelah nilai dari NQ1 dianalisa, langkah selanjutnya yaitu perhitungan NQ2 yang ditunjukkan sebagai berikut.

- NQ2 utara = $C \cdot \frac{1 - GR}{1 - GR \cdot DS} \cdot \frac{Q_{masuk}}{3600}$
 $= 821,471 \cdot \frac{1 - 0,41}{1 - 0,41 \cdot 0,948} \cdot \frac{778,4}{3600}$
 $= 14,2 \text{ smp}$
- NQ2 selatan = $821,471 \cdot \frac{1 - 0,41}{1 - 0,41 \cdot 0,727} \cdot \frac{596,8}{3600}$
 $= 9,5 \text{ smp}$
- NQ2 timur = $762,794 \cdot \frac{1 - 0,38}{1 - 0,38 \cdot 0,625} \cdot \frac{476,8}{3600}$
 $= 7,3 \text{ smp}$
- NQ2 barat = $762,794 \cdot \frac{1 - 0,38}{1 - 0,38 \cdot 0,987} \cdot \frac{752,7}{3600}$
 $= 14,1 \text{ smp}$

Diperoleh nilai NQ1 dan NQ2 sebagai dasar untuk melakukan analisa perhitungan nilai jumlah kendaraan antri (NQ) sesuai rumus 2.23 mengacu pada MKJI 1997, seperti yang ada di bawah ini.

- NQ utara = $NQ1 + NQ2 = 6,5 + 14,2 = 20,7 \text{ smp}$
- NQ selatan = $NQ1 + NQ2 = 0,8 + 9,5 = 10,3 \text{ smp}$
- NQ timur = $NQ1 + NQ2 = 0,3 + 7,3 = 7,6 \text{ smp}$
- NQ barat = $NQ1 + NQ2 = 11,3 + 14,1 = 25,4 \text{ smp}$

Setelah memperoleh nilai NQ, tahap selanjutnya yaitu mencari nilai NQmax yang diuraikan pada sub bab 4.5.3. di bawah ini.

4.5.3. NQmax

NQmax diperoleh dari tabel perhitungan jumlah antrian yang berkorelasi dengan jumlah antrian (NQ) yang berhubungan dengan persentase peluang untuk pembebeban lebih (POL) dengan mengambil nilai persentase sebesar 5%, sesuai pada Gambar 2.26. yang mengacu pada MKJI 1997. Untuk hasil NQmax tiap pendekat didapat hasil sebagai berikut.

- NQmax utara = 30,0 smp
- NQmax selatan = 16,0 smp
- NQmax timur = 12,5 smp
- NQmax barat = 36,0 smp

Setelah nilai NQ_{max} telah didapatkan, selanjutnya menghitung panjang antrian yang diuraikan pada sub bab 4.5.4. berikut ini.

4.5.4. Panjang Antrian (QL)

Nilai panjang antrian merupakan hasil kali NQ_{max} dengan luasan rerata yang dipakai setiap smp (20 m^2) yang dibagi dengan lebar masuk (W_e), sesuai pada rumus 2.27. mengacu pada MKJI 1997. Untuk panjang antrian ditunjukkan pada analisa perhitungan di bawah ini.

- QL utara $= \frac{NQ_{MAX} \times 20}{W_{MASUK}} = \frac{30,0 \times 20}{3,5} = 171,43 \text{ m}$
- QL selatan $= \frac{NQ_{MAX} \times 20}{W_{MASUK}} = \frac{16,0 \times 20}{3,5} = 91,43 \text{ m}$
- QL timur $= \frac{NQ_{MAX} \times 20}{W_{MASUK}} = \frac{12,5 \times 20}{3,5} = 71,43 \text{ m}$
- QL barat $= \frac{NQ_{MAX} \times 20}{W_{MASUK}} = \frac{36,0 \times 20}{3,5} = 205,71 \text{ m}$

4.6. Kendaraan Terhenti

Untuk memperoleh hasil dari jumlah kendaraan terhenti rata-rata (NS_{tot}), diperlukan adanya hasil perhitungan angka henti atau rasio kendaraan (NS) dan jumlah kendaraan terhenti (N_{sv}), sesuai pada rumus 2.28, 2.29, dan 2.30 yang mengacu pada MKJI 1997. Analisa perhitungan tertera pada sub bab 4.6.1. hingga 4.6.3. di bawah ini.

4.6.1. Angka Henti (NS)

Angka henti atau disebut juga rasio kendaraan (NS) tiap-tiap pendekat yang diartikan sebagai jumlah rerata berhenti setiap smp-nya (MKJI, 1997). Analisa perhitungan untuk mencari nilai NS tertera di bawah ini.

- NS utara $= 0,9 \times \frac{NQ}{Q \times c} \times 3600$
 $= 0,9 \times \frac{30,0}{778,4 \times 68} \times 3600 = 1,269 \text{ stop/smp}$
- NS selatan $= 0,9 \times \frac{16,0}{596,8 \times 68} \times 3600 = 0,821 \text{ stop/smp}$
- NS timur $= 0,9 \times \frac{12,5}{476,8 \times 68} \times 3600 = 0,764 \text{ stop/smp}$
- NS barat $= 0,9 \times \frac{36,0}{752,7 \times 68} \times 3600 = 1,610 \text{ stop/smp}$

4.6.2. Jumlah Kendaraan Terhenti (N_{SV})

Nilai N_{SV} adalah perkalian antara angka henti atau rasio kendaraan (NS) dan arus lalu lintas (Q) sesuai pada rumus 2.29. mengacu pada MKJI 1997, dengan analisa perhitungan masing-masing pendekat seperti di bawah ini.

- $N_{SV} \text{ utara} = Q \cdot NS$
 $= 778,4 \cdot 1,269 = 988 \text{ smp/jam}$
- $N_{SV} \text{ selatan} = 596,8 \cdot 0,821 = 490 \text{ smp/jam}$
- $N_{SV} \text{ timur} = 476,8 \cdot 0,764 = 364 \text{ smp/jam}$
- $N_{SV} \text{ barat} = 752,7 \cdot 1,610 = 1212 \text{ smp/jam}$

Total nilai $N_{SV} = N_{SV} \text{ utara} + N_{SV} \text{ selatan} + N_{SV} \text{ timur} + N_{SV} \text{ barat}$
 $= 988 + 490 + 364 + 1212 = 3054 \text{ smp/jam}$

4.6.3. Kendaraan Terhenti Rata-rata

Nilai kendaraan terhenti rerata keseluruhan simpang didapatkan dari hasil bagi jumlah kendaraan terhenti keseluruhan pendekat ($N_{SV} \text{ total}$) terhadap arus lalu lintas total ($Q \text{ total}$), sesuai pada rumus 2.30. mengacu pada MKJI 1997.

$$NS_{\text{tot}} = \frac{\sum N_{SV}}{Q_{\text{total}}} = \frac{3054}{2604,7} = 1,17 \text{ stop/smp}$$

Sehingga, diperoleh nilai kendaraan terhenti rerata simpang 1,17 stop/smp.

4.7. Tundaan

4.7.1. Tundaan Lalu Lintas Rata-rata (DT)

Tundaan lalu lintas rerata suatu pendekat (DT) karena efek timbal balik dengan pergerakan yang ada lainnya pada simpang (MKJI, 1997). Sesuai rumus 2.31. mengacu pada MKJI 1997, berikut adalah analisa perhitungannya.

- $DT \text{ utara} = c \cdot A \cdot \frac{NQ1 \cdot 3600}{C}$
 $= c \cdot \frac{0,5 \cdot (1-GR)^2}{1-GR \cdot DS} \cdot \frac{NQ1 \cdot 3600}{C}$
 $= 68,0 \cdot \frac{0,5 \cdot (1-0,41)^2}{1 - 0,41 \cdot 0,948} \cdot \frac{6,5 \cdot 3600}{821,471} = 47,98 \text{ det/smp}$
- $DT \text{ selatan} = 68,0 \cdot \frac{0,5 \cdot (1-0,41)^2}{1 - 0,41 \cdot 0,727} \cdot \frac{0,8 \cdot 3600}{821,471} = 20,39 \text{ det/smp}$
- $DT \text{ timur} = 68,0 \cdot \frac{0,5 \cdot (1-0,38)^2}{1 - 0,38 \cdot 0,625} \cdot \frac{0,3 \cdot 3600}{762,794} = 18,61 \text{ det/smp}$
- $DT \text{ barat} = 68,0 \cdot \frac{0,5 \cdot (1-0,38)^2}{1 - 0,38 \cdot 0,987} \cdot \frac{11,3 \cdot 3600}{762,794} = 74,32 \text{ det/smp}$

4.7.2. Tundaan Geometrik Rata-rata (DG)

Tundaan geometrik rerata di tiap pendekat (DG) akibat adanya perlambatan dan percepatan ketika menunggu giliran di suatu simpang dan/atau saat diberhentikan sinyal lampu merah (MKJI, 1997). Sesuai rumus 2.32., berikut adalah analisisnya.

- $DG \text{ utara} = (1 - NS) \cdot (P_{LT} + P_{RT}) \cdot 6 + (NS \cdot 4)$
 $= (1 - 1,269) \cdot (0,077 + 0,310) \cdot 6 + (1,269 \cdot 4) = 4,45 \text{ det/smp}$
- $DG \text{ selatan} = (1 - 0,821) \cdot (0,191 + 0,149) \cdot 6 + (0,821 \cdot 4) = 3,65 \text{ det/smp}$
- $DG \text{ timur} = (1 - 0,764) \cdot (0,316 + 0,124) \cdot 6 + (0,764 \cdot 4) = 3,68 \text{ det/smp}$
- $DG \text{ barat} = (1 - 1,610) \cdot (0,328 + 0,182) \cdot 6 + (1,610 \cdot 4) = 4,57 \text{ det/smp}$

4.7.3. Tundaan Rata-rata (D)

Nilai tundaan rata-rata (D) dari masing-masing pendekat adalah jumlah tundaan lalu lintas rata-rata (DT) serta tundaan geometrik rata-rata (DG), dengan analisa perhitungan tiap pendekatnya yaitu sebagai berikut.

- $D \text{ utara} = DT \text{ utara} + DG \text{ utara} = 47,98 + 4,45 = 52,43 \text{ det/smp}$
- $D \text{ selatan} = DT \text{ selatan} + DG \text{ selatan} = 20,39 + 3,65 = 24,04 \text{ det/smp}$
- $D \text{ timur} = DT \text{ timur} + DG \text{ timur} = 18,61 + 3,68 = 22,29 \text{ det/smp}$
- $D \text{ barat} = DT \text{ barat} + DG \text{ barat} = 74,32 + 4,57 = 78,89 \text{ det/smp}$

4.7.4. Tundaan Total (D_{tot})

Nilai tundaan total (D_{tot}) diperoleh dari hasil kali antara tundaan rata-rata (D) dan arus lalu lintas (Q), dengan analisa masing-masing pendekat seperti di bawah ini.

- $D_{tot} \text{ utara} = D \text{ utara} \times Q \text{ utara}$
 $= 52,43 \times 778,4 = 40.812,65 \text{ smp.det}$
- $D_{tot} \text{ selatan} = D \text{ selatan} \times Q \text{ selatan}$
 $= 24,04 \times 596,8 = 14.346,04 \text{ smp.det}$
- $D_{tot} \text{ timur} = D \text{ timur} \times Q \text{ timur}$
 $= 22,29 \times 476,8 = 10.629,87 \text{ smp.det}$
- $D_{tot} \text{ barat} = D \text{ barat} \times Q \text{ barat}$
 $= 78,89 \times 752,7 = 59.380,76 \text{ smp.det}$

$$\begin{aligned} \text{Nilai } D_{tot} \text{ total} &= D_{tot} \text{ utara} + D_{tot} \text{ selatan} + D_{tot} \text{ timur} + D_{tot} \text{ barat} \\ &= 40.812,65 + 14.346,04 + 10.629,87 + 59.380,76 \\ &= 125.169,32 \text{ smp.det} \end{aligned}$$

4.7.5. Tundaan Simpang Rata-rata (D1)

Tundaan rerata untuk keseluruhan simpang (D1) diperoleh dengan membagi jumlah nilai tundaan (D_{tot}) dengan arus lalu lintas total dari keempat lengan (Q_{total}) dalam smp/jam, sesuai dalam rumus 2.33. yang mengacu pada MKJI 1997.

$$D1 = \frac{D_{total}}{Q_{total}} = \frac{125.169,32}{2604,7} = 48,06 \text{ det/smp}$$

Setelah keseluruhan perhitungan dengan sampel waktu diambil pada jam puncak hari Senin, 10 Juli 2023 (hari kerja) pukul 16.30 – 17.30 di sore hari untuk sub bab 4.5., 4.6., dan 4.7. dianalisa, selanjutnya direkapitulasi dalam Tabel 4.6. atau Formulir SIG-V di bawah ini.

Tabel 4.6. Panjang Antrian dan Tundaan (SIG-V)

Kode Pendekat	Arus Lalu Lintas smp/jam Q	Kapasitas smp/jam C	Derajat Kejenuhan DS = Q/C	Rasio Hijau GR = g/c	Jumlah Kendaraan Antri (smp)				Panjang Antrian (m) QL	Rasio Kendaraan stop/smp NS	Jumlah Kendaraan Terhenti smp/jam NSV	Tundaan			
					N1	N2	Total N1 + N2 = NQ	NQmaks				Tundaan Lalu Lintas Rata-rata det/smp DT	Tundaan Geometrik Rata-rata det/smp DG	Tundaan Rata-rata det/smp D = DT + DG	Tundaan Total smp.det D x Q
U	778,4	821,471	0,948	0,41	6,5	14,2	20,7	30,0	171,43	1,269	988	47,98	4,45	52,43	40812,65
S	596,8	821,471	0,727	0,41	0,8	9,5	10,3	16,0	91,43	0,821	490	20,39	3,65	24,04	14346,04
T	476,8	762,794	0,625	0,38	0,3	7,3	7,6	12,5	71,43	0,764	364	18,61	3,68	22,29	10629,87
B	752,7	762,794	0,987	0,38	11,3	14,1	25,4	36,0	205,71	1,610	1212	74,32	4,57	78,89	59380,76
Arus kor.	-									Total :	3054			Total :	125169,32
Qkor.										Kendaraan Terhenti Rata-rata stop/smp	1,17			Tundaan Simpang Rata-rata det/smp	48,06
Arus Total Qtot.	2604,7														

4.8. Hasil Analisa Data

4.8.1. Hasil Karakteristik Lalu Lintas

Data geometrik berasal dari data primer berupa pengukuran di lapangan secara langsung, yang mana didapat lebar pendekat (W_a) selebar 7,0 m, lebar masuk (W_{masuk}) dan lebar keluar (W_{keluar}) yaitu 3,5 m, dan tidak memiliki belok kiri langsung (W_{LTO}) pada keempat lengan simpang dari Jalan Tusam Raya, Jalan Kanfer Raya, Jalan Cemara Raya, dan Jalan Jati Raya. Selain itu, wilayah persimpangan bersinyal Jati Raya termasuk dalam lingkungan jalan komersial, dengan hambatan samping yang rendah, dan tanpa median. Data Geometrik ini tertuang pada Tabel 4.1. dan Gambar 3.2. di atas.

Analisa data yang tercantum pada penelitian ini mengambil sampel data lalu lintas terpadat, yang mana diperoleh jam puncak pada hari Senin, 10 Juli 2023 (hari kerja) pukul 16.30 – 17.30 di sore hari, dimana diperoleh nilai arus lalu lintas (Q) pada pendekat utara sebesar 778,4 smp/jam, pendekat selatan 596,8 smp/jam, pendekat timur 476,8 smp/jam, dan pendekat barat 752,7 smp/jam. Dengan ini, diperoleh nilai arus lalu lintas total (Q_{tot}) yaitu 2604,7 smp/jam. Hasil arus lalu lintas pada Tabel 4.3. tersebut diperoleh setelah dilakukan analisa dari data mentah hasil survei jumlah kendaraan lalu lintas yang terdapat pada Tabel 4.2.

4.8.2. Hasil Analisa Kinerja Simpang Bersinyal

Pengaturan fase sinyal pada persimpangan bersinyal Jati Raya terdiri dari dua fase, yaitu fase 1 (satu) untuk pendekat utara – selatan (U-S) dan fase 2 (dua) untuk pendekat timur – barat (T-B) seperti yang ditampilkan pada Gambar 4.1. di atas. Waktu siklus pada persimpangan bersinyal ini selama 68 detik, yang mana masih dalam kategori layak untuk tipe pengaturan dua fase, yaitu dengan batasan 40 – 80 detik seperti yang tertera pada Tabel 2.5. mengacu pada MKJI 1997. Rincinya dengan waktu kuning semuanya yaitu 2 detik, waktu hijau U-S 28 detik dan T-B 26 detik, waktu merah U-S 38 detik dan T-B 40 detik. Waktu semua merah (*all red*) dari lampu hijau U-S ke lampu hijau T-B adalah 6 detik, sedangkan sebaliknya 2 detik. Dengan itu, diperoleh waktu hilang total (LTI) selama 14 detik setiap peralihan fase. Fase sinyal ini bisa disimak pada Gambar 3.3., Gambar 4.1., dan Tabel 4.4.

Arus jenuh dasar (S_0) pada keempat lengan persimpangan bersinyal Jati Raya memiliki nilai yang sama yaitu 2100 smp/jam karena setiap simpang memiliki lebar efektif jalan (W_e) yang sama pula yaitu 3,5 m. Nilai faktor kesesuaian ukuran kota (F_{CS}) yaitu 1,00 karena Semarang termasuk dalam kategori kota besar. Nilai faktor kesesuaian hambatan samping (F_{SF}) yaitu 0,95 karena wilayah persimpangan bersinyal Jati Raya termasuk dalam lingkungan jalan komersial, dengan hambatan samping yang rendah, tipe fase terlawan, dan dengan nilai rasio kendaraan tak bermotor yaitu kisaran 0,001 hingga 0,006. Untuk nilai faktor kelandaian (F_G), faktor kesesuaian parkir (F_P), faktor kesesuaian belok ke arah kanan (F_{RT}), dan faktor kesesuaian belok ke arah kiri (F_{LT}) seluruhnya bernilai 1,00. Dengan ini, nilai arus jenuh yang disesuaikan (S) yaitu 1995 smp/jam pada keempat lengan simpang. Nilai rasio arus jenuh (FR) didapat sebesar 0,390 untuk pendekat utara, 0,299 untuk selatan, 0,239 untuk timur, dan 0,377 untuk barat. Menurut MKJI 1997, nilai rasio arus jenuh (FR) tersebut masih dalam kategori wajar. Batasan kritis tertingginya adalah $FR < 0,8$. Analisa arus jenuh berada di sub bab 4.4.1. sampai 4.4.4.

Hasil analisa kapasitas (C) didapat untuk pendekat utara dan selatan yaitu 821,471 smp/jam dan pendekat timur dan barat 762,794 smp/jam. Untuk nilai derajat kejenuhan (DS) pendekat utara sebesar 0,948, selatan 0,727, timur 0,625, dan barat 0,987. Dalam MKJI 1997, disebutkan bahwa batas nilai DS adalah tidak melampaui 0,85. Dikarenakan untuk pendekat utara dan barat telah melebihi batas tersebut, ini berarti kedua lengan itu telah mendekati jenuh, yang dapat menimbulkan antrian panjang saat situasi lalu lintas puncak. Hasil analisa arus jenuh, kapasitas, dan derajat kejenuhan dapat disimak pada Tabel 4.5.

Nilai panjang antrian (QL) untuk pendekat utara adalah sepanjang 171,43 m, selatan 91,43 m, timur 71,43 m, dan barat 205,71 m. Sedangkan untuk tundaan simpang rata-rata ($D1$) diperoleh nilai 48 detik/smp. Tundaan simpang rerata itu dapat difungsikan untuk indikator tingkat pelayanan pada setiap pendekat dan juga dari suatu simpang secara keseluruhannya (MKJI, 1997). Menurut Peraturan Kemenhub Nomor 14 Tahun 2006 tentang Manajemen dan Rekayasa Lalu Lintas di Jalan, nilai tundaan rata-rata ($D1$) yaitu sebesar 48 detik/smp termasuk dalam tingkat pelayanan E (buruk), yaitu masuk batas 40,1 – 60,0 detik/smp yang mengacu pada Tabel 2.6.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1. Kesimpulan

Berdasar pada penelitian analisa kinerja simpang menggunakan MKJI 1997 pada persimpangan bersinyal Jati Raya, Banyumanik, Semarang, maka dapat disimpulkan:

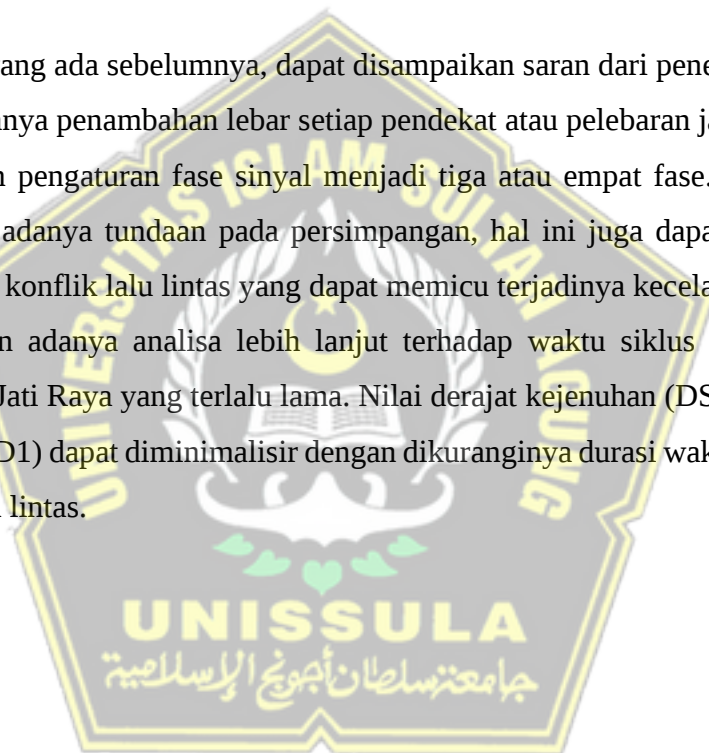
1. Dari hasil survei di lapangan didapatkan bahwa kondisi beberapa simpang sudah tidak mampu menahan jumlah arus lalu lintas kendaraan di jam puncak. Berikut data karakteristik-karakteristik lalu lintas yang diperoleh sebagai berikut:
 - a. Data geometrik didapat lebar pendekat (W_a) 7,0 m, lebar masuk (W_{masuk}) dan lebar keluar (W_{keluar}) 3,5 m, serta tak memiliki belok kiri langsung (W_{LTO}) pada keempat lengan simpang. Selain itu, wilayah simpang tersebut termasuk lingkungan jalan komersial, hambatan samping rendah, dan tanpa median.
 - b. Nilai arus lalu lintas (Q_{tot}) jam puncak pada hari Senin, 10 Juli 2023 (hari kerja) pukul 16.30 – 17.30 diperoleh sebesar 2604,7 smp/jam, dengan nilai tertinggi terdapat pada arus dari pendekat utara yaitu 778,4 smp/jam.
2. Dari hasil analisa kinerja menunjukkan bahwa persimpangan bersinyal tersebut masih layak dalam pengoperasiannya, namun pada hasil analisa perhitungan derajat kejenuhan (DS) dan tundaan simpang rata-rata ($D1$) diperoleh hasil yang buruk. Berikut hasil analisa kinerja persimpangan bersinyal yang diperoleh sebagai berikut:
 - a. Pengaturan fase sinyal lalu lintas terdiri dari dua fase, dengan waktu siklus 68 detik yang masih tergolong layak menurut MKJI 1997 (40 – 80 detik).
 - b. Arus jenuh yang disesuaikan (S) yaitu 1995 smp/jam. Dengan ini, diperoleh nilai rasio arus jenuh (FR) sebesar 0,390 untuk pendekat utara, 0,299 selatan, 0,239 timur, dan 0,377 barat. Menurut MKJI 1997, nilai rasio tersebut masih dalam kategori wajar ($FR < 0,8$).
 - c. Kapasitas (C) diperoleh untuk pendekat utara dan selatan 821,471 smp/jam dan pendekat timur dan barat adalah 762,794 smp/jam.

- d. Derajat kejenuhan (DS) diperoleh pendekatan utara sebesar 0,948, selatan 0,727, timur 0,625, dan barat 0,987. Nilai DS pendekatan utara dan barat itu telah melampaui batas jenuh yang ditentukan MKJI 1997 ($DS > 0,85$).
- e. Nilai panjang antrian (QL) untuk pendekatan utara adalah sepanjang 171,43 m, selatan 91,43 m, timur 71,43 m, dan barat 205,71 m.
- f. Tundaan simpang rata-rata (D1) diperoleh nilai 48 detik/smp. Menurut Peraturan Kemenhub Nomor 14 Tahun 2006 tentang Manajemen dan Rekayasa Lalu Lintas di Jalan, nilai tersebut termasuk dalam tingkat pelayanan E atau buruk, yaitu masuk batas 40,1 – 60,0 detik/smp.

5.2. Saran

Dari uraian yang ada sebelumnya, dapat disampaikan saran dari peneliti, yaitu:

1. Dilakukannya penambahan lebar setiap pendekatan atau pelebaran jalan.
2. Mengubah pengaturan fase sinyal menjadi tiga atau empat fase. Selain untuk mengurai adanya tundaan pada persimpangan, hal ini juga dapat mengurangi terjadinya konflik lalu lintas yang dapat memicu terjadinya kecelakaan.
3. Diperlukan adanya analisa lebih lanjut terhadap waktu siklus persimpangan bersinyal Jati Raya yang terlalu lama. Nilai derajat kejenuhan (DS) dan tundaan rata-rata (D1) dapat diminimalisir dengan dikurangnya durasi waktu siklus pada sinyal lalu lintas.



DAFTAR PUSTAKA

- Adri P., R. W., Herlina, N., & Hidayat, A. K. (2019). Analisis Kinerja Simpang Bersinyal (Studi Kasus Simpang Mitra Batik Kota Tasikmalaya). *Jurnal Ilmiah Teknik Sipil Akselerasi*, 1(1).
- Alamsyah, A. A. (2005). *Rekayasa Lalu Lintas*. UMM PRESS.
- Badan Pusat Statistik Kota Semarang. (2023, April). *Jumlah Penduduk Menurut Jenis Kelamin (Jiwa)*. <https://semarangkota.bps.go.id/indicator/12/78/1/jumlah-penduduk-menurut-jenis-kelamin.html>
- Badan Pusat Statistik Kota Semarang. (2023, April). *Luas Wilayah, Jumlah Penduduk, dan Kepadatan Penduduk (Jiwa/km2), 2020-2022*. <https://semarangkota.bps.go.id/indicator/12/48/1/kepadatan-penduduk.html>
- Direktorat Jenderal Bina Marga dan Direktorat Bina Jalan Kota. (1997). *Manual Kapasitas Jalan Indonesia*. PT Bina Karya (Persero).
- Kementerian Perhubungan Republik Indonesia. (2006). *Manajemen dan Rekayasa Lalu Lintas di Jalan*. Biro Hukum Kementerian Perhubungan.
- Khisty, C. J., & Lall, B. K. (2005). *Dasar-dasar Rekayasa Transportasi Jilid 1*. Erlangga. Jakarta.
- Morlok, E. K. (1991). *Pengantar Teknik dan Perencanaan Transportasi*. Erlangga. Jakarta.
- Putra, I. P. M. A. M., Sriastuti, D. A. N., & Rahadiani, A. A. S. D. (2021). Analisis Simpang Bersinyal Pada Simpang Uluwatu, Badung, Bali. *Jurnal Teknik Gradien*, 13(2).
- Rulianto, E. N., & Saputra, A. A. (2022). *Analisa Kinerja Pada Simpang Bersinyal Menggunakan Metode MKJI 1997 (Studi Kasus: Simpang Jolotundo, Kota Semarang, Jawa Tengah)*. (Tugas Akhir, Universitas Semarang).

- Saputra, W. R., & Irawan, W. A. (2022). *Analisis Kinerja Simpang Empat Bersinyal Segmen Jalan Soekarno Hatta Depan SPBU Pertamina Masjid Agung Semarang*. (Tugas Akhir, Universitas Islam Sultan Agung Semarang).
- Soedirdjo, T. L. (2002). *Catatan Kuliah Rekayasa Lalu Lintas*. ITB PRESS.
- Syafutri, Y. (2018). *Evaluasi Kinerja Simpang Bersinyal Pada Simpang Jalan Pattimura – Simpang Jalan Sudirman Kota Medan (Studi Kasus)*. (Tugas Akhir, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara Medan).
- Syaikh, M., & Widodo, E. (2016). Analisa Kapasitas dan Tingkat Kinerja Simpang Bersinyal (Studi Kasus Simpang Tiga Purwosari Kabupaten Pasuruan). *Jurnal Reka Buana: Jurnal Ilmiah Teknik Sipil*, 1(1).

