

**KINERJA SIMPANG BERSINYAL JL. TAMIN – JL. H. AGUS SALIM –
JL. CUT NYAK DIEN DI KOTA BANDAR LAMPUNG**

(SKRIPSI)

**OLEH :
SHAFNA MIFTA AULIA
2215011048**



**FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG
2026**

ABSTRAK

KINERJA SIMPANG BERSINYAL JL. TAMIN – JL. H. AGUS SALIM – JL. CUT NYAK DIEN DI KOTA BANDAR LAMPUNG

Oleh

SHAFNA MIFTA AULIA

Persimpangan Jl. Tamin – Jl. H. Agus Salim – Jl. Cut Nyak Dien di Kota Bandar Lampung mengalami permasalahan lalu lintas berupa tingginya tundaan dan antrean kendaraan, terutama pada pendekat Selatan. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis kinerja simpang bersinyal berdasarkan Pedoman Kapasitas Jalan Indonesia (PKJI) 2023 serta menentukan alternatif rekayasa lalu lintas yang efektif untuk meningkatkan kinerja simpang pada kondisi eksisting dan proyeksi 5 tahun mendatang. Analisis dilakukan menggunakan parameter derajat kejenuhan (D_j), tundaan, panjang antrean, dan tingkat pelayanan (LoS). Hasil analisis menunjukkan bahwa pendekat Selatan memiliki nilai D_j sebesar 1,24 dengan tundaan 107,78 det/SMP sehingga termasuk tingkat pelayanan F. Pada proyeksi 5 tahun mendatang, nilai D_j meningkat menjadi 1,45 dengan tundaan 154,84 det/SMP. Alternatif rekayasa yang diterapkan berupa optimasi waktu siklus, perubahan geometrik jalan, dan kombinasi keduanya. Hasil penelitian menunjukkan bahwa kombinasi optimasi waktu siklus dan perubahan geometrik merupakan alternatif paling efektif. Nilai D_j pendekat Utara menurun dari 0,78 menjadi 0,62, pendekat Timur dari 0,91 menjadi 0,71, pendekat Barat dari 0,84 menjadi 0,66, dan pendekat Selatan dari 1,24 menjadi 0,67. Tundaan pendekat Selatan juga menurun dari 107,78 det/SMP menjadi 39,99 det/SMP sehingga tingkat pelayanan meningkat dari F menjadi B. Dengan demikian, usulan Kombinasi tersebut dinilai efektif dalam meningkatkan kinerja simpang bersinyal pada lokasi penelitian.

Kata kunci: kinerja simpang bersinyal, panjang antrian, tundaan, LoS , PKJI 2023.

ABSTRACT

PERFORMANCE OF SIGNALIZED INTERSECTION AT JL. TAMIN – JL. H. AGUS SALIM – JL. CUT NYAK DIEN IN BANDAR LAMPUNG CITY

By

SHAFNA MIFTA AULIA

The intersection of Jl. Tamin – Jl. H. Agus Salim – Jl. Cut Nyak Dien in Bandar Lampung City experiences traffic problems in the form of high vehicle delays and queue lengths, especially on the South approach. This study aims to analyze the performance of the signalized intersection based on the Indonesian Highway Capacity Guidelines (PKJI) 2023 and determine effective traffic engineering alternatives to improve intersection performance under existing conditions and a 5-year traffic projection. The analysis was conducted using the parameters of degree of saturation (D_s), delay, queue length, and level of service (LoS). The analysis results show that the South approach has a D_s value of 1.24 with a delay of 107.78 sec/pcu, categorized as Level of Service F. Under the 5-year projection condition, the D_s value increases to 1.45 with a delay of 154.84 sec/pcu. The proposed traffic engineering alternatives include cycle time optimization, geometric road improvements, and a combination of both. The results indicate that the combination of cycle time optimization and geometric improvements is the most effective alternative. The D_s value on the North approach decreases from 0.78 to 0.62, the East approach from 0.91 to 0.71, the West approach from 0.84 to 0.66, and the South approach from 1.24 to 0.67. In addition, the delay on the South approach decreases from 107.78 sec/pcu to 39.99 sec/pcu, improving the level of service from F to B.

Keywords: signalized intersection performance, queue length, delay, LoS, PKJI 2023

**KINERJA SIMPANG BERSINYAL JL. TAMIN – JL. H. AGUS SALIM –
JL. CUT NYAK DIEN DI KOTA BANDAR LAMPUNG**

Oleh:

SHAFNA MIFTA AULIA

Skripsi

**Sebagai Salah Satu Syarat untuk Mencapai Gelar
SARJANA TEKNIK**

JURUSAN TEKNIK SIPIL

Fakultas Teknik Universitas Lampung



**FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG
2026**

Judul Skripsi

: KINERJA SIMPANG BERSINYAL JL.
TAMIN - JL. H. AGUS SALIM - JL.
CUT NYAK DIEN DI KOTA BANDAR
LAMPUNG

Nama Mahasiswa

: Shafna Mifta Aulia

Nomor Pokok Mahasiswa : 2215011048

Program Studi

: S1 Teknik Sipil

Jurusan

: Teknik Sipil

Fakultas

: Teknik

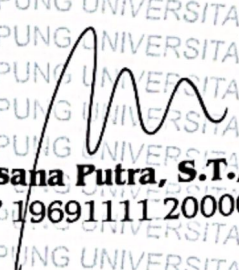


1. Komisi Pembimbing


Prof. Muhammad Karami, S.T., M.Sc., Ph.D.
NIP 19720829 199802 1 001


Dr. Ir. Rahayu Sulistyorini, S.T., M.T.
NIP 19741004 200003 2 002

2. Ketua Jurusan Teknik Sipil


Sasana Putra, S.T., M.T.
NIP 19691111 200003 1 002

3. Ketua Program Studi Teknik Sipil


Dr. Suyadi, S.T., M.T.
NIP 19741225 200501 1 003

MENGESAHKAN

1. Tim Penguji

Ketua

: **Prof. Muhammad Karami, S.T.,
M.Sc., Ph.D.**

Sekretaris

: **Dr. Ir. Rahayu Sulistyorini, S.T., M.T.**

Penguji

Bukan Pembimbing : **Ir. Tas'an Junaedi, S.T., M.T.**

2. Dekan Fakultas Teknik

: **Dr. Ahmad Herison, S.T., M.T.**

NIP 19691030 200003 1 001

Tanggal Lulus Ujian Skripsi : **22 Juni 2026**

LEMBAR PERNYATAAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Shafna Mifta Aulia
Nomor Pokok Mahasiswa : 2215011048
Program Studi : S1 Teknik Sipil
Jurusan : Teknik Sipil
Fakultas : Teknik
Judul Skripsi : Kinerja Simpang Bersinyal Jl. Tamin – Jl. H. Agus Salim – Jl. Cut Nyak Dien di Kota Bandar Lampung

Dengan ini menyatakan bahwa skripsi ini adalah hasil karya saya sendiri dan belum pernah diajukan untuk memperoleh gelar sarjana di perguruan tinggi mana pun. Semua pendapat, data, atau hasil karya orang lain yang terdapat dalam naskah ini telah dikutip dan dirujuk sesuai dengan kaidah penulisan ilmiah yang berlaku serta dicantumkan dalam daftar pustaka. Penulisan skripsi ini merupakan bagian dari penelitian dengan judul "Kinerja Simpang Bersinyal Jl. Tamin – Jl. H. Agus Salim – Jl. Cut Nyak Dien di Kota Bandar Lampung.

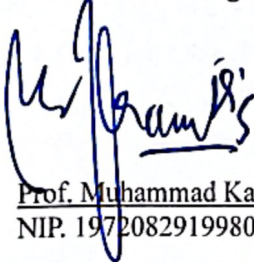
Atas pernyataan diatas, jika dikemudian hari ditemukan adanya ketidakbenaran, saya bersedia menanggung sanksi yang diberikan dan saya sanggup dituntut sesuai hukum yang berlaku.

Bandar Lampung, 30 JUNI 2026

Pembuat Pernyataan

Mengetahui,

Dosen Pembimbing Skripsi



Prof. Muhammad Karami, S.T., M.Sc. Ph.D.
NIP. 197208291998021001



Shafna Mifta Aulia
NPM. 2215011048

RIWAYAT HIDUP



Penulis lahir di Kota Baturaja, Sumatera Selatan pada tanggal 09 September 2004. Penulis merupakan anak ketiga dari Bapak Febrianto Kuncoro, SKM., MKM. dan Ibu Berta Afriani, SKM, Mkes. Penulis merupakan 4 bersaudara dengan 1 (satu) orang kakak perempuan bernama Shabila Fitri Auli, M.Kom, 1 (satu) orang kakak laki – laki bernama Marhan, A.Md.T. serta 1 (satu) orang adik bernama Nafisa Mifta Aulia.

Penulis memulai jenjang pendidikan di TK Kartika Jaya II-34, Baturaja yang diselesaikan pada tahun 2010, lalu dilanjutkan Pendidikan Tingkat Dasar di SDN 1 OKU yang diselesaikan pada tahun 2016, lalu dilanjutkan Pendidikan Tingkat Pertama di SMPN 2 OKU yang diselesaikan pada tahun 2019, dan dilanjutkan Pendidikan Menengah Atas di SMAN 1 OKU yang diselesaikan pada tahun 2022. Kemudian, penulis diterima sebagai mahasiswa program studi S1 Teknik Sipil, Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Lampung pada tahun 2022 melalui jalur SBMPTN.

Penulis telah mengikuti Kuliah Kerja Nyata (KKN) periode I di Desa Nyukang Harjo, Kecamatan Selagai Lingga, Kabupaten Lampung Tengah, Lampung selama 40 hari, yaitu Januari – Februari 2025, Kemudian pada Agustus – November 2025 penulis melaksanakan Kerja Praktik pada Proyek Pembangunan GOR Saburai di Kota Bandar Lampung, Lampung. Mulai pada tahun 2026, penulis melakukan penelitian yang berjudul “*Kinerja Simpang bersinyal Jl. Tamin – Jl. H. Agus Salim – Jl. Cut Nyak Dien di Kota Bandar Lampung*” sebagai tugas akhir dan salah satu syarat untuk mencapai gelar Sarjana Teknik.

PERSEMBAHAN

Alhamdulillahillahirabbil 'alamin, segala puji dan syukur kupanjatkan kepada Allah SWT. atas segala rahmat, kesehatan, kekuatan, dan kemudahan yang telah diberikan sehingga karya sederhana ini dapat terselesaikan. Kupersembahkan karya ini kepada orang-orang terkasih yang senantiasa menyayangi, mendukung, dan percaya bahwa aku mampu melewati setiap lika-liku perjalanan hingga akhirnya sampai pada titik penyelesaian.

Bapak dan Ibuku

Skripsi ini kupersembahkan dengan penuh cinta dan rasa hormat kepada kedua orang tuaku, Bapak dan Ibu, atas segala doa, kasih sayang, dukungan, dan pengorbanan yang tiada henti. Terima kasih karena selalu menjadi kekuatan terbesar dalam setiap langkah hidupku. Semoga karya sederhana ini dapat menjadi sedikit kebanggaan dan kebahagiaan untuk kalian.

Kakak dan adikku

Untuk kakak-kakak dan adikku tersayang, terima kasih atas segala perhatian, dukungan, dan semangat yang selalu diberikan selama perjalanan ini. Kehadiran kalian menjadi penguat dalam setiap proses yang dilalui.

Dosen Teknik Sipil Universitas Lampung

Yang telah memberikan ilmu, arahan, dan bimbingan selama proses pembelajaran. Terima kasih atas kesabaran dan dedikasi dalam membimbing hingga skripsi ini dapat terselesaikan dengan baik.

Diri Saya Sendiri

Terakhir, skripsi ini penulis persembahkan untuk diri sendiri. Terima kasih karena telah mampu bertahan, berjuang, dan tidak menyerah dalam menghadapi setiap proses panjang yang penuh ujian dan pembelajaran. Terima kasih telah tetap melangkah meskipun tidak selalu mudah. Semoga pencapaian ini menjadi awal dari mimpi-mimpi yang lebih besar di masa depan.

MOTTO

“There’s a lot that i don’t know, but you learn when you don’t know.”

(Marklee – Child)

“You must still eat, you must still sleep, even if the sky falls a person has to live.”

(Fan Changyu – Pursuit of Jade)

“Happiness can be found even in the darkest of times.”

(Albus Percival Wulfric Brian Dumbledore – Harry potter)

“Dream big, work hard, stay focused, and surround yourself with good people.”

(Park Chanyeol – EXO)

“beside the victory, that’s her destiny.”

SANWACANA

Atas berkat Rahmat hidayat Allah S.W.T. dengan mengucapkan puji Syukur Alhamdulillah, penulis mampu menyelesaikan skripsi yang berjudul “Kinerja Simpang Bersinyal Jl. Tamin – Jl. H. Agus Salim – Jl. Cut Nyak Dien di Kota Bandar Lampung” sebagai salah satu syarat dalam mendapatkan gelar Sarjana Teknik di Universitas Lampung. Pada penyusunan laporan ini, penulis mendapatkan banyak bantuan, dukungan, dan arahan dari berbagai pihak. Oleh karena itu, penulis mengucapkan terima kasih banyak kepada:

1. Ibu Prof. Dr. Ir. Lusmeilia Afriani, D.E.A., IPM, ASEAN, Eng., selaku Rektor Universitas Lampung.
2. Bapak Dr. Ahmad Herison, S.T., M.T., selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Lampung.
3. Bapak Sasana Putra, S.T., M.T., selaku Ketua Jurusan Teknik Sipil Universitas Lampung.
4. Bapak Dr. Suyadi, S.T., M.T., selaku Ketua Program Studi S-1 Teknik Sipil Universitas Lampung.
5. Bapak Prof. Muhammad Karami, S.T., M.Sc., Ph.D. selaku Dosen Pembimbing Utama, atas kesabaran, waktu, dan ilmu yang telah didedikasikan dalam mengarahkan penulis hingga skripsi ini selesai. Terima kasih yang sebesar-besarnya, semoga segala kebaikan Bapak dibalas dengan keberkahan yang berlipat.
6. Ibu Dr. Ir. Rahayu Sulistyorini, S.T., M.T. selaku Dosen Pembimbing Kedua. Terima kasih atas bimbingan, waktu, dan motivasi yang telah Ibu berikan. Semoga segala kebaikan Ibu dibalas dengan keberkahan yang berlipat.
7. Bapak Ir. Tas'an Junaedi, S.T., M.T. selaku Dosen Penguji. Terima kasih atas kritik, saran, dan kontribusi berharga yang Bapak berikan untuk skripsi ini. Semoga segala kebaikan Bapak dibalas dengan keberkahan yang berlipat.

8. Bapak Dr. Suyadi, S.T., M.T., selaku Ketua Program Studi S-1 Teknik Sipil Universitas Lampung dan dosen Pembimbing Akademik atas bimbingan dan pengarahan selama masa perkuliahan.
9. Seluruh Dosen Jurusan Teknik Sipil yang sudah memberikan ilmu dan wawasan yang bermanfaat dalam proses pembelajaran agar lebih baik kedepannya.
10. Seluruh Staff Administrasi Jurusan Teknik Sipil yang selalu membantu dalam administrasi selama perkuliahan penulis.
11. Keluarga tercinta, Bapak Febrianto Kuncoro, S.K.M., M.K.M. dan Ibu Berta Afriani, S.K.M., M.Kes., serta saudara-saudara penulis, Yuk Pipit, Kak Aan, Kak Jeva, Nafisha, dan keponakan tercinta Salman, yang selalu menjadi tempat penulis kembali setelah lelah menghadapi panjangnya proses ini. Terima kasih atas doa yang diam-diam selalu mengiringi, kasih sayang yang tidak pernah berkurang, dan dukungan yang tetap ada bahkan ketika penulis merasa ingin menyerah. Kehadiran kalian menjadi kekuatan terbesar yang membuat penulis mampu bertahan hingga skripsi ini akhirnya dapat terselesaikan.
12. Mager yok, (Winda, Rahmalia, Adit, Shandi, Dani, Ihsan, Rafi, Oji) keluarga kedua yang membuat tanah rantau tidak pernah terasa asing dan sepi. Terima kasih telah berjalan bersama di setiap fase lelah, membagi tawa, dan saling menguatkan saat ingin menyerah. Setiap memori yang tercipta kini menjelma menjadi bagian terbaik dari perjalanan yang penuh arti.
13. Aisyah, Anisa, Ara, Destria dan Ratu, selaku sahabat penulis sejak masa sekolah menengah pertama (SMP) yang senantiasa hadir memberikan dukungan, semangat, dan kebersamaan hingga saat ini. Terima kasih karena telah menjadi bagian dari begitu banyak cerita, tumbuh bersama dalam berbagai proses kehidupan, serta tetap kebersamai penulis meskipun waktu dan kesibukan terus berjalan. Kehadiran kalian menjadi salah satu hal berharga yang selalu memberikan hangat dan kekuatan bagi penulis.
14. Keluarga besar Teknik Sipil Angkatan 2022 (TEGAS), terima kasih atas perjuangan dan setiap cerita yang tercipta selama perkuliahan ini. Kebersamaan kalian akan selalu menjadi memori berharga untuk masa depan.

15. Terakhir, apresiasi tertinggi untuk diri sendiri, Shafna Mifta Aulia. Terima kasih telah bertahan melewati setiap batas lelah, tetap berdiri tegak saat keraguan menguji, dan menolak berhenti meski perjalanan ini menguras energi serta emosi. Setiap peluh, doa, dan waktu yang dikorbankan adalah bukti nyata bahwa tidak ada usaha yang berakhir sia-sia. Terima kasih telah memilih untuk terus melangkah hingga akhirnya lembaran ini dapat diselesaikan dengan penuh rasa bangga.

Penulis menyadari bahwa laporan ini masih jauh dari kata sempurna, sehingga saran dan masukan membangun diperlukan oleh penulis di kemudian hari. Akhir kata, penulis berharap skripsi ini dapat bermanfaat dan berguna.

Bandar Lampung, 2026
Penulis,

Shafna Mifta Aulia

DAFTAR ISI

	Halaman
KATA PENGANTAR.....	i
DAFTAR ISI.....	ii
DAFTAR GAMBAR.....	v
DAFTAR TABEL	vii
I. PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Tujuan Penelitian	3
1.4 Batasan Masalah.....	3
1.5 Manfaat Penelitian	4
II. TINJAUAN PUSTAKA.....	5
2.1 Pengertian Simpang	5
2.1.1 Jenis-Jenis Persimpangan.....	5
2.1.2 Karakteristik Arus Lalu Lintas.....	6
2.2 Kriteria Desain dalam Menentukan Jenis dan Tipe Persimpangan.....	8
2.3 Simpang Bersinyal	9
2.3.1 Konflik Simpang APILL.....	9
2.3.2 Fase Sinyal	10
2.4 Kapasitas Simpang APILL.....	12
2.4.1 Penentuan Lebar Pendekat Efektif.....	13
2.4.2 Penentuan Arus Jenuh	15

2.5 Faktor Penyesuain	17
2.5.1 Faktor Penyesuaian Ukuran Kota (F_{UK}).....	18
2.5.2 Faktor Penyesuaian Hambatan Samping (F_{HS})	18
2.5.3 Faktor Penyesuaian Kelandaian (F_G)	18
2.5.4 Faktor Penyesuaian Parkir (F_P)	19
2.5.5 Faktor Penyesuaian Belok Kanan (F_{BKa}).....	20
2.5.6 Faktor Penyesuaian Belok Kiri (F_{BKl}).....	21
2.6 Waktu isyarat APILL	21
2.6.1 Waktu Merah Semua dan Wakt Hijau Hilang Total	21
2.6.2 Waktu Siklus dan Waktu Hijau.....	23
2.7 Jenis Kendaraan	24
2.7.1 Ekuivalensi Mobil Penumpang	24
2.8 Kinerja Lalu Lintas Simpang APILL.....	25
2.8.1 Derajat Kejenuhan.....	25
2.8.2 Panjang Antrian.....	26
2.8.3 Tundaan.....	27
2.9 Tingkat Pelayanan	27
III.METODE PENELITIAN	29
3.1 Diagram Alir Penelitian	29
3.2 Survei Pendahuluan.....	30
3.2.1 Lokasi Penelitian.....	30
3.2.2 Waktu Penelitian	31
3.2.3 Penentuan Titik Penelitian	31
3.3 Pengumpulan Data	32
3.3.1 Data Primer	32
3.4 Pengolahan Data.....	34
3.4.1 Menghitung Volume Lalu Lintas	34
3.4.2 Menghitung Waktu Isyarat pada Simpang.....	34
3.4.3 Menghitung Kinerja pada Simpang	35
3.5 Proyeksi Arus Lalu Lintas 5 Tahun Mendatang	35

3.6 Analisis Data	36
3.6.1 Analisis Kinerja Simpang Bersinyal	36
3.6.2 Tingkat Pelayanan Simpang.....	37
3.7 Menetapkan Usulan Rekayasa Lalu Lintas	37
IV. HASIL DAN PEMBAHASAN	40
4.1 Data Geometri Simpang Eksisting	40
4.2 Volume Lalu Lintas Eksisting.....	41
4.3 Waktu Isyarat Simpang Kondisi Eksisting	45
4.3.1 Fase Sinyal	45
4.3.2 Waktu Siklus	47
4.4 Analisis Kinerja Simpang Bersinyal pada Kondisi Eksisting	49
4.4.1 Derajat Kejenuhan.....	49
4.4.2 Panjang Antrean (P_A)	62
4.4.3 Tundaan (T).....	64
4.5 Tingkat Pelayanan Simpang Eksisting.....	66
4.6 Analisis Kinerja Simpang Bersinyal 5 Tahun Mendatang.....	67
4.7 Usulan Rekayasa Lalu Lintas	75
4.7.1 Optimasi Waktu Siklus Sinyal	76
4.7.2 Perbaikan Desain Geometrik Jalan pada Simpang.....	78
4.7.3 Usulan Perbaikan Desain Geometrik Jalan Serta Mengatur Ulang Waktu Siklus Sinyal.....	81
V. PENUTUP.....	85
5.1 Kesimpulan	85
5.2 Saran.....	86
DAFTAR PUSTAKA	
LAMPIRAN	
LAMPIRAN A (Dokumentasi Survei)	
LAMPIRAN B (Lembar Asistennsi)	

DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
2.1 Konflik primer dan konflik sekunder pada simpang 4 lengan	9
2.2 Pengaturan dua fase.....	10
2.3 Pengaturan tiga fase	11
2.4 Pengaturan empat fase.....	11
2.5 Pendekat dan Sub-pendekat	12
2.6 Penentuan tipe pendekat.....	13
2.7 Lebar pendekat dengan dan tanpa pulau lalu lintas	14
2.8 Arus jenuh dasar untuk pendekat terlindung (tipe P).....	16
2.9 Faktor penyesuaian kelandain (F_G)	19
2.10 Faktor penyesuaian parkir (F_p).....	20
2.11 Faktor penyesuaian belok kanan (F_{BKa})	20
2.12 Faktor penyesuaian belok kiri (F_{BKl}).....	21
2.13 Titik konflik kritis dan jarak untuk keberangkatan dan kedatangan	22
3.1 Bagan Alir Penelitian	29
3.2 Lokasi Penelitian di Jl. Tamin – Jl. H. Agus Salim.	30
4.1 Sketsa Simpang Empat Bersinyal Jl. Tamin – Jl. H. Agus Salim.....	40
4.2 Fase Pergerakan Lalu Lintas Simpang Empat Jalan Tamin – Jalan H. Agus Salim Kondisi Eksisting.....	46
4.3 Diagram Waktu Siklus	48
4.4 Arus jenuh dasar (J_0) untuk pendekat tak terlindung tanpa lajur belok kanan terpisah untuk, $L_E=3m$	53
4.5 Arus jenuh dasar (J_0) untuk pendekat tak terlindung tanpa lajur belok kanan terpisah untuk, $L_E=4m$	53

4.6	Arus jenuh dasar (J_0) untuk pendekat tak terlindung tanpa lajur belok kanan terpisah untuk, $L_E=5m$	54
4.7	Faktor Kelandaian.	58
4.8	Grafik Jumlah Penduduk Kota Bandar Lampung	68
4.9	Grafik Jumlah Kendaraan Kota Bandar Lampung.....	70
4.10	Gambar Desain Perbaikan Geometrik Simpang	80
4.11	Gambar Desain Perbaikan Geometrik Simpang pada Pendekat Selatan.	81

DAFTAR TABEL

Tabel	Halaman
2.1 Faktor penyesuaian ukuran kota (F_{UK}).....	18
2.2 Faktor penyesuaian hambatan samping	18
2.3 Klasifikasi Jenis Kendaraan	24
2.4 Ekuivalensi mobil penumpang (EMP).....	25
2.5 EMP untuk JBH4/2	25
2.6 EMP untuk JBH6/2	25
2.7 Kategori Tingkat Pelayanan.....	28
4.1 Volume Lalu Lintas Simpang Pagi Hari	41
4.2 Volume Lalu Lintas Simpang Sore Hari.....	42
4.3 Rekapitulasi Volume Kendaraan 1 Jam puncak.....	43
4.4 Nilai EMP	44
4.5 Volume Lalu Lintas (SMP/Jam) Sore Hari (16.00-17.00).....	45
4.6 Waktu Siklus	48
4.7 Arus Lalu Lintas Simpang Kondisi Eksisting.....	50
4.8 Lebar Efektif Pendekat.....	52
4.9 Arus Belok Kanan (q_{BKa}) dan Arus Belok Kanan Berlawanan (q_{BKaO}) pada Setiap Pendekat.	54
4.10 Nilai Arus Jenuh Dasar Simpang	55
4.11 Faktor Koreksi Ukuran Kota	56
4.12 Faktor Koreksi Hambatan Samping	57
4.13 Faktor Penyesuaian Arus Jenuh pada Setiap Pendekat	59
4.14 Arus Jenuh pada Kondisi Eksisting.....	60
4.15 Nilai Kapasitas Simpang (C) Simpang	60
4.16 Nilai Derajat Kejenuhan (D_j) Simpang.....	61

4.17 Nilai Jumlah Rata – Rata Kendaraan Antre (N_q)	63
4.18 Panjang Antrean (P_A) Simpang	64
4.19 Rasio Kendaraan Henti (R_{KH}) dan Jumlah Kendaraan Henti (N_{KH})	66
4.20 Nilai Tundaan pada Simpang	66
4.21 Tingkat Pelayanan Simpang Eksisting	67
4.22 Data Jumlah Penduduk Kota Bandar Lampung	68
4.23 Proyeksi Jumlah Penduduk Kota Bandar Lampung 5 Tahun	69
4.24 Data Jumlah Kendaraan Kota Bandar Lampung	70
4.25 Proyeksi Jumlah Kendaraan Kota Bandar Lampung 5 Tahun Mendatang ...	71
4.26 Jumlah Volume Lalu Lintas Jam Puncak Sore 5 Tahun Mendatang	72
4.27 Rekapitulasi Volume Lalu Lintas Jam Puncak Sore Per Gerakan (SMP/Jam)	72
4.28 Faktor Penyesuaian Belok Kanan (F_{BKa}) dan Belok Kiri (F_{BKl}) 5 Tahun Mendatang	73
4.29 Nilai Jumlah Rata-Rata Kendaraan Antre (N_q) 5 Tahun Mendatang	74
4.30 Nilai Tundaan pada Simpang 5 Tahun Mendatang	74
4.31 Kinerja Simpang 5 Tahun Mendatang	75
4.32 Waktu Siklus (130 detik) Usulan Optimasi Sinyal	76
4.33 Perbandingan Kinerja Simpang Antara Kondisi Eksisting dan 5 Tahun Mendatang dengan Usulan Optimasi Waktu Siklus	77
4.34 Perbandingan Kinerja Simpang Antara Kondisi Eksisting dan 5 Tahun Mendatang dengan Usulan Perbaikan Geometri Jalan	79
4.35 Perbandingan Kinerja Simpang Antara Kondisi Eksisting dan 5 Tahun Mendatang dengan Usulan Perbaikan Desain Geometrik Jalan Serta Mengatur Ulang Waktu Siklus Sinyal	82
4.36 Perbandingan Hasil Analisis Kinerja Simpang Pada Kondisi Eksisting dan Kondisi 5 Tahun Mendatang, Tanpa dan Dengan Usulan Rekayasa Lalu Lintas	84

I. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Simpang lalu lintas merupakan suatu area pada jaringan jalan yang menjadi titik pertemuan atau persilangan antara dua atau lebih ruas jalan. Pada lokasi ini terjadi interaksi berbagai arus kendaraan, sehingga simpang memiliki peran penting dalam pengaturan dan kelancaran pergerakan lalu lintas (Aulia et al., 2024).

Menurut (Ramzy et al., 2024), Interaksi antar arus kendaraan yang tinggi pada persimpangan menjadikan tingkat kompleksitas lalu lintas lebih besar dibandingkan ruas jalan biasa. Tanpa perencanaan geometrik dan pengaturan lalu lintas yang tepat, kinerja simpang dapat menurun, konflik kendaraan meningkat, serta risiko kecelakaan bertambah. Oleh sebab itu, pengelolaan simpang yang efektif diperlukan untuk menekan kemacetan, tundaan, dan potensi kecelakaan.

Menurut (PKJI, 2023) salah satu parameter utama dalam menilai kinerja suatu simpang adalah derajat kejenuhan (D_j). Nilai D_j sebesar 0,85 ditetapkan sebagai ambang batas kelayakan. Apabila $D_j \leq 0,85$, maka kinerja simpang masih dianggap memenuhi standar pelayanan. Namun, jika $D_j > 0,85$, diperlukan upaya perbaikan, seperti penambahan jumlah lajur atau penerapan manajemen lalu lintas agar nilai D_j dapat ditekan di bawah batas tersebut. Untuk simpang bersinyal, analisis kinerja juga mempertimbangkan parameter tambahan seperti panjang antrian (P_A), dan tundaan (T). Batas nilai dari masing-masing parameter bergantung pada kondisi geometrik simpang yang dievaluasi sesuai ketentuan dalam PKJI 2023.

Simpang empat Jl. Tamin – Jl. H. Agus Salim merupakan simpang empat bersinyal yang berada di wilayah Kota Bandar Lampung. Permasalahan kemacetan pada simpang empat Jl. Tamin – Jl. H. Agus Salim dipengaruhi oleh pengaturan waktu siklus lampu lalu lintas yang kurang optimal. Ketidaktepatan dalam pembagian durasi fase hijau, kuning, dan merah menyebabkan distribusi arus kendaraan menjadi tidak seimbang antar lengan simpang. Kondisi ini mengakibatkan antrian kendaraan semakin panjang, tundaan meningkat, dan kinerja simpang menurun secara keseluruhan. Dengan kata lain, waktu siklus yang tidak terkoordinasi dengan baik menimbulkan alur lalu lintas yang tidak tertata dan memicu terjadinya konflik pergerakan kendaraan di persimpangan. Permasalahan kemacetan pada simpang empat Jl. Tamin – Jl. H. Agus Salim tidak hanya disebabkan oleh pengaturan waktu siklus lampu lalu lintas yang kurang optimal, tetapi juga dipengaruhi oleh kondisi geometrik simpang yang terbatas, khususnya pada lebar jalan. Ketidakseimbangan durasi fase sinyal antar lengan simpang menyebabkan distribusi arus kendaraan menjadi tidak merata sehingga antrian sering kali menumpuk pada lengan tertentu. Sementara itu, lebar jalan yang tidak memadai untuk menampung volume kendaraan yang tinggi semakin memperparah penurunan kapasitas efektif simpang. Kombinasi kedua faktor tersebut mengakibatkan tundaan yang signifikan, alur lalu lintas menjadi tidak tertata, serta meningkatkan potensi konflik pergerakan kendaraan di area persimpangan.

Evaluasi kinerja dan tingkat pelayanan simpang bersinyal pada persimpangan Jl. Tamin – Jl. H. Agus Salim dilakukan dengan menerapkan metode PKJI 2023. Metode ini digunakan untuk menilai kondisi eksisting simpang, sehingga hasil analisis dapat dimanfaatkan sebagai dasar dalam penyusunan usulan rekayasa lalu lintas yang bertujuan meningkatkan kinerja simpang serta mengatasi permasalahan lalu lintas yang terjadi. Penelitian ini penting dilakukan karena tingginya aktivitas lalu lintas di kawasan tersebut berpotensi menyebabkan peningkatan tundaan, bertambahnya panjang antrean, serta penurunan tingkat pelayanan simpang apabila tidak dilakukan evaluasi dan penanganan yang sesuai dengan ketentuan PKJI 2023.

1.2 Rumusan Masalah

1. Bagaimana kinerja lalu lintas pada simpang bersinyal Jl. Tamin – Jl. H. Agus Salim di Kota Bandar Lampung?
2. Bagaimana usulan rekayasa lalu lintas yang dapat meningkatkan kinerja simpang bersinyal dan tingkat pelayanan simpang (*Level of Service/LoS*) di Jl. Tamin – Jl. H. Agus Salim?

1.3 Tujuan Penelitian

Berdasarkan rumusan masalah, tujuan penelitian ini adalah:

1. Untuk menganalisis kondisi dan kinerja simpang bersinyal di Jl. Tamin – Jl. H. Agus Salim berdasarkan parameter lalu lintas seperti derajat kejenuhan (D_J), tundaan rata – rata, panjang antrian, dan tingkat pelayanan (*Level of Service/LoS*).
2. Untuk memberikan usulan rekayasa lalu lintas yang terukur sebagai upaya untuk meningkatkan kinerja simpang serta menurunkan tingkat kemacetan pada simpang Jl. Tamin – Jl. H. Agus Salim.

1.4 Batasan Masalah

1. Penelitian dilakukan pada satu lokasi simpang bersinyal, yaitu Simpang Jl. Tamin – Jl. H. Agus Salim di Kota Bandar Lampung.
2. Analisis kinerja simpang dilakukan berdasarkan metode PKJI (Pedoman Kapasitas Jalan Indonesia) 2023.
3. Parameter kinerja yang dianalisis meliputi kapasitas, derajat kejenuhan (D_J), tundaan rata-rata (T), dan panjang antrian kendaraan (P_A).
4. Survei lalu lintas dilakukan pada hari kerja dan jam puncak (06.00 – 08.00 & 17.00 – 18.00) untuk menggambarkan kondisi lalu lintas paling kritis.
5. Jenis kendaraan yang diteliti adalah SM, MP, dan KS.
6. Penelitian tidak mencakup analisis aspek lingkungan, sosial, maupun ekonomi secara mendalam, melainkan berfokus pada aspek teknis lalu lintas.

1.5 Manfaat Penelitian

Hasil dari penelitian ini diharapkan dapat memberikan manfaat sebagai berikut:

1. Penelitian ini diharapkan memberikan informasi yang bermanfaat bagi berbagai pihak dalam pelaksanaan studi atau pekerjaan yang berkaitan dengan kinerja persimpangan, khususnya pada simpang dengan sinyal lalu lintas.
2. Menambah wawasan dalam melakukan evaluasi terhadap kinerja simpang bersinyal yang menjadi objek kajian.
3. Temuan penelitian diharapkan dapat memberikan gambaran mengenai tingkat pelayanan pada simpang tersebut.

II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Pengertian Simpang

Persimpangan merupakan bagian dari jaringan jalan di mana dua atau lebih ruas jalan saling bertemu atau berpotongan, baik pada satu bidang maupun berbeda bidang, sehingga memungkinkan kendaraan bergerak dari berbagai arah dan melakukan perubahan arah perjalanan (Sinurat et al., 2024). Persimpangan merupakan salah satu bagian jalan yang memiliki tingkat risiko kecelakaan relatif tinggi.

Pengaturan lalu lintas pada persimpangan merupakan aspek yang sangat krusial dalam sistem pergerakan lalu lintas, karena pada titik ini berbagai arus kendaraan saling bertemu dan berpotongan sehingga membutuhkan pengendalian yang tepat untuk menjaga keselamatan, ketertiban, dan kelancaran arus lalu lintas (Vanidi, 2021).

2.1.1 Jenis – Jenis Persimpangan

Menurut (Haryono & Atsila, 2024), Jenis – jenis persimpangan dapat dibedakan antara lain sebagai berikut:

1. Tipe Persimpangan

a) Simpang Sebidang

Simpang sebidang adalah persimpangan antara dua atau lebih ruas jalan yang saling berpotongan pada elevasi atau bidang yang sama, sehingga seluruh pergerakan lalu lintas bertemu pada satu tingkat dan berpotensi menimbulkan konflik arus lalu lintas.

b) Simpang Tak Sebidang

Simpang tak sebidang adalah persimpangan antara dua atau lebih ruas jalan yang tidak berada pada elevasi yang sama, sehingga pergerakan lalu lintas dipisahkan secara vertikal untuk menghilangkan konflik langsung antar arus kendaraan.

2. Jenis Pengedaliannya

a) Persimpangan dengan alur

Persimpangan dengan alur adalah persimpangan yang pengaturan lalu lintasnya dilakukan melalui desain geometrik, seperti pembagian lajur, marka, dan pulau lalu lintas, sehingga arah pergerakan kendaraan sudah terarah secara fisik tanpa menggunakan sinyal. Jenis ini umumnya diterapkan pada simpang dengan volume lalu lintas rendah hingga sedang.

b) Persimpangan tak bersinyal

Persimpangan tak bersinyal merupakan persimpangan tanpa alat pemberi isyarat lalu lintas, di mana pengaturan arus kendaraan mengandalkan rambu dan aturan prioritas. Persimpangan ini biasanya digunakan pada lokasi dengan volume lalu lintas yang relatif rendah.

c) Persimpangan bersinyal

Persimpangan bersinyal adalah persimpangan yang dilengkapi alat pemberi isyarat lalu lintas untuk mengatur giliran pergerakan kendaraan dan pejalan kaki. Penggunaan sinyal bertujuan mengurangi konflik, meningkatkan keselamatan, serta menjaga kelancaran arus lalu lintas pada simpang dengan volume tinggi.

2.1.2 Karakteristik Arus Lalu Lintas

Terdapat beberapa karakteristik pada Arus lalu lintas, yaitu:

1. Arus Lalu lintas Jalan

Arus lalu lintas jam perencanaan (q_{jp}) ditentukan dengan menggunakan nilai faktor K yang sesuai serta LHRT yang

representatif. Nilai LHRT diperoleh dari hasil perhitungan lalu lintas menerus selama satu tahun, atau apabila menggunakan data prediksi, maka perhitungannya harus mengikuti ketentuan metode perkiraan yang berlaku.

$$q_{JP} = LHRT \times K \dots\dots\dots (Pers. 2.1)$$

Keterangan:

LHRT = Lalu lintas harian rata – rata tahunan, (SMP/hari)

K = Faktor jam perencanaan, ditetapkan dari kajian fluktuasi arus lalu lintas jam-jaman selama satu tahun.

Nilai K yang dapat digunakan untuk jalan perkotaan berkisar antara 7% sampai dengan 12%.

2. Volume Lalu lintas

Volume lalu lintas menggambarkan banyaknya kendaraan yang melewati suatu titik pengamatan dalam selang waktu tertentu. Volume lalu lintas dapat dihitung menggunakan rumus berikut:

$$q = \frac{n}{t} \dots\dots\dots (Pers. 2.2)$$

Keterangan:

q = Volume lalu lintas yang melalui suatu titik (SMP/jam)

n = Jumlah kendaraan yang melintas (SMP)

t = Interval waktu pengamatan (jam)

3. Kecepatan

Kecepatan adalah besaran yang menunjukkan perbandingan antara jarak tempuh dan waktu perjalanan kendaraan, yang dapat dinyatakan sebagai kecepatan titik, perjalanan, ruang, dan gerak. Kelambatan merupakan waktu hilang akibat kendaraan berhenti atau tidak dapat bergerak sesuai kecepatan yang diinginkan karena pengendalian atau

kemacetan lalu lintas. Kecepatan dapat dihitung menggunakan rumus berikut:

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

Keterangan:

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

d = jarak tempuh (Km, m)

t = waktu tempuh (Jam, detik)

4. Kepadatan

Kepadatan lalu lintas merupakan jumlah rata-rata kendaraan yang menempati satuan panjang jalur pergerakan pada periode waktu tertentu. Kepadatan dapat dihitung menggunakan rumus berikut:

$$K = \frac{n}{L} \dots\dots\dots \text{(Pers. 2.4)}$$

Keterangan:

K = kepadatan, (kend/Km)

n = jumlah kendaraan di jalan

L = panjang jalan, (Km)

2.2 Kriteria Desain dalam Menentukan Jenis dan Tipe Persimpangan

Dalam (PKJI, 2023), pemilihan tipe persimpangan baik simpang sebidang, simpang bersinyal (APILL), bundaran, maupun simpang tidak sebidang ditetapkan berdasarkan hasil analisis Biaya Siklus Hidup (BSH) sebagai pendekatan evaluasi jangka panjang. Analisis ini digunakan untuk menentukan alternatif simpang yang paling rasional, baik pada perencanaan simpang baru maupun pada peningkatan simpang yang sudah ada. Penentuan tipe simpang dilakukan dengan mempertimbangkan beberapa parameter utama, yaitu:

- a. Lalu Lintas Harian Rata-Rata (LHRT)
- b. Faktor K yang menggambarkan besarnya arus pada kondisi puncak
- c. Derajat Kejenuhan (D_j) yang dipersyaratkan $< 0,85$
- d. Nilai tundaan (T) yang diupayakan seminimal mungkin

- e. Teknis geometri simpang dan mempertimbangkan keselamatan lalu lintas, dampak lingkungan, serta efisiensi ekonomi

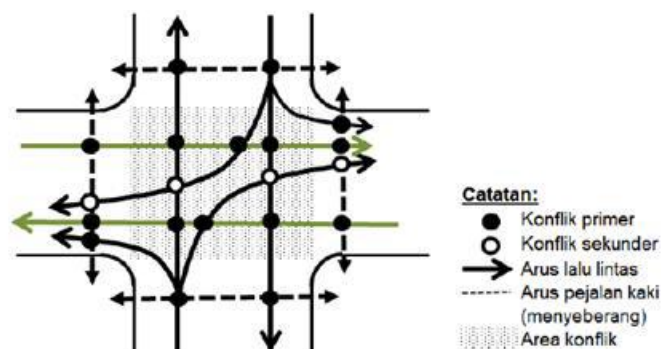
2.3 Simpang Bersinyal

Simpang bersinyal merupakan persimpangan yang dilengkapi dengan alat pemberi isyarat lalu lintas (APILL) yang berfungsi mengatur giliran pergerakan kendaraan dan pejalan kaki, sehingga konflik antar arus dapat dikendalikan serta keselamatan dan kelancaran lalu lintas dapat ditingkatkan.

2.3.1 Konflik Simpang APILL

Konflik lalu lintas di persimpangan menjadi salah satu faktor utama penyebab kemacetan. Kondisi ini terjadi ketika dua atau lebih pengguna jalan membutuhkan ruang jalan yang sama pada waktu yang bersamaan, sehingga pergerakan lalu lintas saling menghambat dan menurunkan kinerja persimpangan. Menurut (PKJI, 2023), sifat titik konflik ada dua yaitu:

1. Konflik primer, yaitu konflik yang terjadi akibat perpotongan langsung antar arus lalu lintas.
2. Konflik sekunder, yaitu konflik yang terjadi akibat antara arus kendaraan yang berbelok kiri dengan pergerakan pejalan kaki, yang berpotensi menimbulkan gangguan terhadap keselamatan dan kelancaran lalu lintas.



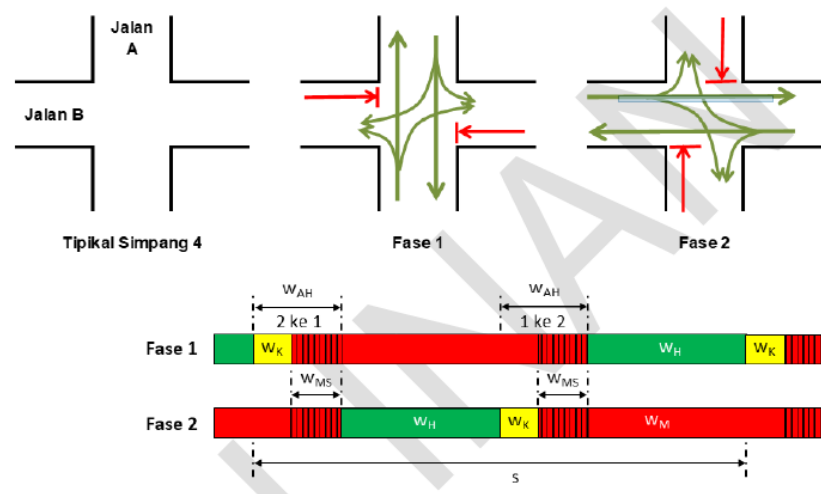
Gambar 2.1 Konflik primer dan konflik sekunder pada simpang 4 lengan.
(Sumber: PKJI 2023).

2.3.2 Fase Sinyal

Fase sinyal merupakan tahapan dalam satu siklus pengaturan sinyal lalu lintas, di mana lampu hijau dialokasikan untuk kombinasi pergerakan tertentu, baik kendaraan maupun pejalan kaki. Pengaturan fase ini bertujuan mengendalikan arus lalu lintas secara bergiliran agar konflik antar pergerakan dapat dikurangi serta kinerja dan keselamatan persimpangan tetap terjaga (PKJI, 2023).

Ada beberapa kasus pengaturan fase berdasarkan (PKJI, 2023), yaitu:

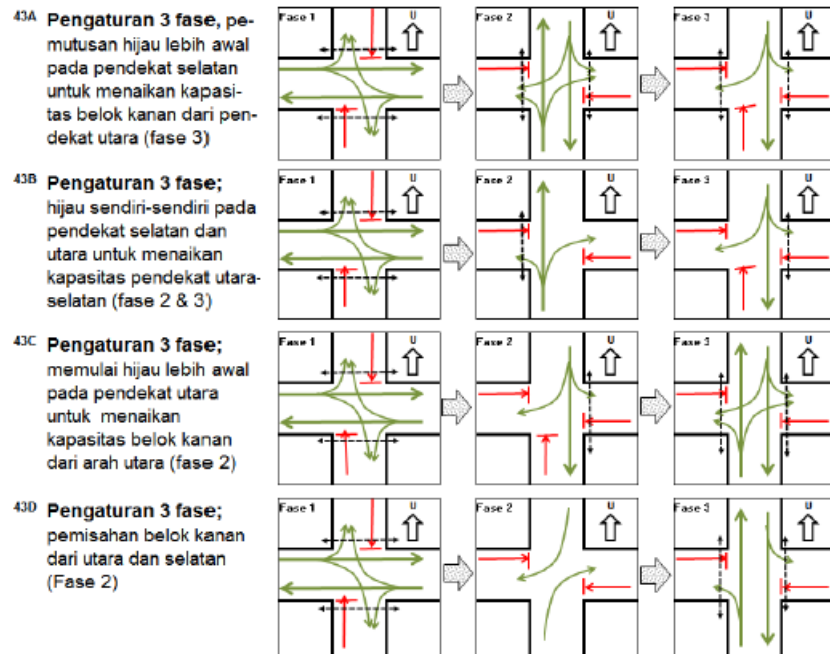
1. Dua fase existing



Gambar 2.2 Pengaturan dua fase.
(Sumber: PKJI 2023).

2. Tiga fase

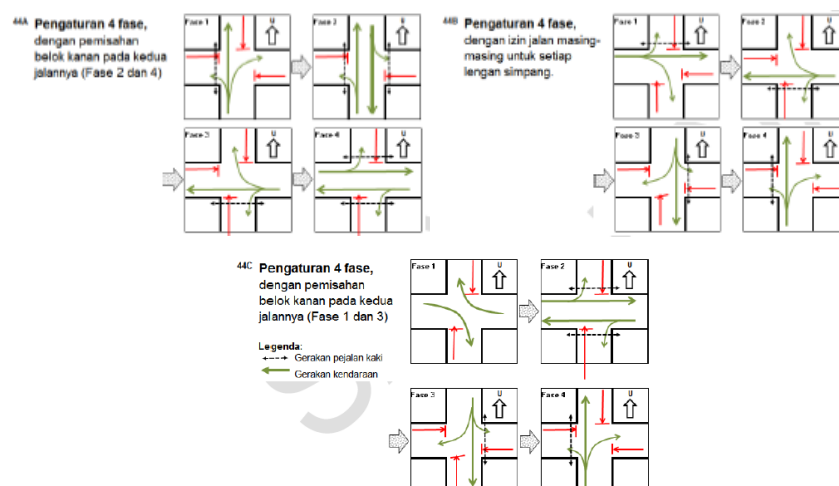
Pengaturan ini merupakan sistem pengendalian lampu lalu lintas yang menggunakan tiga fase pergerakan lalu lintas. Pada pengaturan tiga fase, setiap kelompok arus kendaraan memperoleh giliran lampu hijau secara terpisah sesuai dengan pola pergerakannya, sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 2.3 dibawah ini.



Gambar 2.3 Pengaturan tiga fase.
(Sumber: PKJI 2023).

3. Empat fase

Pengaturan ini merupakan sistem lampu lalu lintas yang menggunakan empat fase pergerakan. Pada pengaturan empat fase, setiap arus lalu lintas diatur secara bergiliran sesuai dengan pola pergerakannya, sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 2.4.



Gambar 2.4 Pengaturan empat fase.
(Sumber: PKJI 2023).

2.4 Kapasitas Simpang APILL

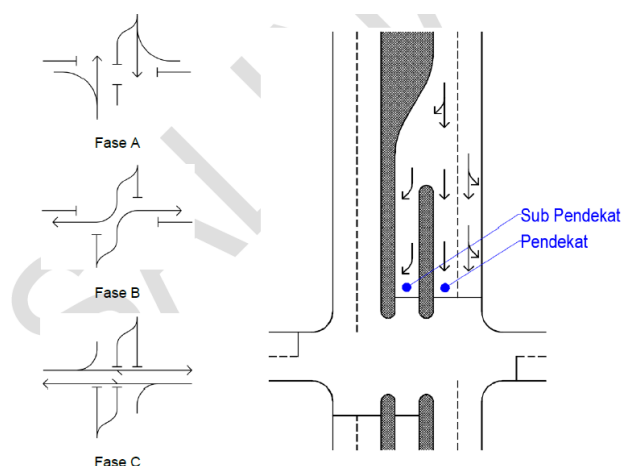
Dalam evaluasi kinerja simpang bersinyal (APILL), perhitungan kapasitas dilakukan secara individual pada setiap pendekat. Satu lengan simpang dapat terdiri atas satu atau beberapa pendekat yang selanjutnya diuraikan menjadi sub-pendekat, sejalan dengan pengaturan fase sinyal yang diterapkan. Pembagian ini umumnya terjadi ketika arus belok kiri atau belok kanan memperoleh waktu hijau yang terpisah dari arus lurus, atau ketika pergerakan tersebut dipisahkan secara fisik melalui keberadaan pulau jalan.

Untuk masing-masing pendekat atau sub-pendekat, lebar efektif (L_E) ditetapkan dengan mempertimbangkan kondisi geometrik pada bagian masuk dan keluar simpang APILL. Nilai kapasitas (C) kemudian ditentukan dengan mengacu pada Persamaan 2.4 sesuai ketentuan yang tercantum dalam PKJI 2023.

$$C = J \times \frac{W_H}{S} \dots\dots\dots(\text{Pers.2.5})$$

Keterangan :

- C = Kapasitas Simpang Bersinyal, (SMP/jam)
- J = Arus Jenuh, (SMP/jam)
- W_H = Total waktu hijau dalam satu siklus, (detik)
- S = Waktu siklus, (detik)



Gambar 2.5 Pendekat dan Sub-pendekat.
(Sumber: PKJI 2023).

2.4.1 Penentuan Lebar Pendekat Efektif

1. Tipe Pendekat

Untuk pendekat dengan arus lalu lintas yang bergerak pada fase sinyal berbeda, analisis kapasitas harus dilakukan secara terpisah untuk setiap fase tersebut. Contohnya, arus lurus dan belok kanan pada lajur yang dipisahkan perlu dianalisis secara individual. Prinsip yang sama juga berlaku untuk pendekat dengan tipe pergerakan yang berbeda, seperti pergerakan terlindung dan terlawan dalam fase terpisah. Oleh karena itu, proses analisis wajib menyesuaikan ketentuan masing-masing tipe pergerakan pada pendekat tersebut.

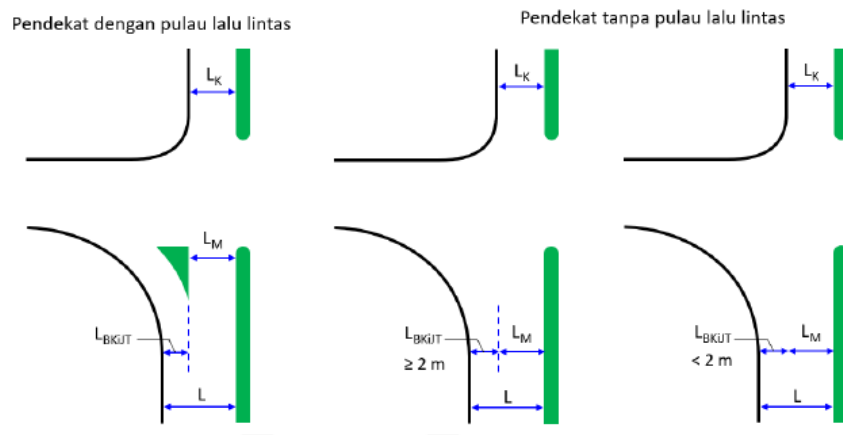
Tipe pendekat	Keterangan	Contoh pola pengaturan pada pendekat
Terlindung (Tipe P)	Arus berangkat tidak konflik dengan arus lalu lintas dari arah berlawanan	Jalan satu arah
		Jalan satu arah
		Simpang-3
		Jalan dua arah, belok kanan dibatasi
Terlawan (Tipe O)	Arus berangkat konflik dengan arus lalu lintas dari arah berlawanan	Jalan dua arah, fase untuk masing-masing arah terpisah
		Jalan dua arah, arus berangkat dari arah yang berlawanan dalam Fase yang sama. Semua belok kanan tidak dibatasi

Gambar 2.6. Penentuan tipe pendekat.
(Sumber: PKJI 2023)

2. Lebar Pendekat Efektif

Lebar pendekat efektif (L_E) ditentukan berdasarkan lebar pendekat awal (L), lebar masuk (L_M), dan lebar keluar (L_K). Penetapan L_M bergantung pada kondisi geometrik pendekat pada simpang APILL. Pada pendekat dengan pulau lalu lintas, arus belok kiri memiliki lajur tersendiri sehingga L_M diukur dari tepi pulau lalu lintas hingga median. Sebaliknya, pada pendekat tanpa pulau lalu lintas, arus belok kiri dapat terpisah atau menyatu dengan arus lurus. Jika $L_{BKJT} > 2$ m,

belok kiri membentuk antrian sendiri dan $L_M = L - L_{BKJT}$; sedangkan jika $L_{BKJT} < 2$ m, arus belok kiri menyatu dengan arus lurus.



Gambar 2.7. Lebar pendekat dengan dan tanpa pulau lalu lintas.
(Sumber: PKJI 2023).

Lebar efektif (L_E) dapat dihitung dengan menggunakan ketentuan sebagai berikut:

- Apabila $L_{BKJT} \geq 2$ m atau berfungsi sebagai lajur eksklusif, arus belok kiri jalan terus (B_{KJT}) dapat melampaui antrian kendaraan lurus dan belok kanan saat sinyal merah. Dalam kondisi ini, lebar efektif (L_E) ditetapkan melalui langkah berikut:

- Arus B_{KJT} (q_{BKJT}) dikeluarkan dari analisis, sehingga arus yang diperhitungkan menjadi $q = q_{LRS} + q_{BKa}$. Lebar efektif selanjutnya ditentukan sesuai ketentuan yang berlaku.

$$L_E = \text{Min} \left\{ \begin{array}{l} L \\ L_M \end{array} \right. \dots \dots \dots (\text{Pers. 2.6})$$

- Apabila $L_{BKJT} < 2$ m, arus belok kiri jalan terus (B_{KJT}) dianggap tidak dapat mendahului antrian saat sinyal merah. Oleh karena itu, q_{BKJT} tetap disertakan dalam perhitungan pada tahap selanjutnya.

$$L_E = \text{Min} \left\{ \begin{array}{l} L \\ L_M + L_{BKJT} \\ L \times (1 + R_{BKJT}) - L_{BKJT} \end{array} \right. \dots \dots \dots (\text{Pers.2.7})$$

2.4.2 Penentuan Arus Jenuh

Arus jenuh (J , SMP/jam) merupakan nilai yang diperoleh dari arus jenuh dasar (J_0) yang dikalikan dengan berbagai faktor koreksi, guna menyesuaikan perbedaan antara kondisi eksisting dan kondisi ideal. J_0 merepresentasikan arus jenuh pada kondisi lalu lintas dan geometri yang sepenuhnya ideal, sehingga seluruh faktor koreksinya bernilai 1,0. Nilai J selanjutnya dihitung menggunakan Persamaan 2.8.

$$J = J_0 \times F_{HS} \times F_{UK} \times F_G \times F_P \times F_{BK_i} \times F_{BK_a} \dots \dots \dots (\text{Pers.2.8})$$

Keterangan:

F_{HS} = Faktor koreksi J_0 akibat hambatan samping lingkungan jalan

F_{UK} = Faktor koreksi J_0 terkait ukuran kota

F_G = Faktor koreksi J_0 akibat kelandaian memanjang pendekat

F_{BK_i} = Faktor koreksi J_0 akibat arus lalu lintas yang membelok ke kiri

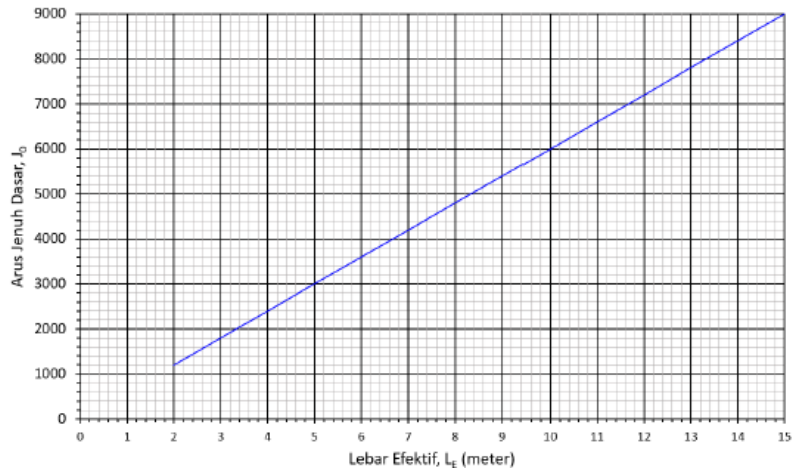
F_{BK_a} = Faktor koreksi J_0 akibat arus lalu lintas yang membelok ke kanan

F_P = Faktor koreksi J_0 akibat adanya jarak garis henti pada mulut pendekat terhadap kendaraan yang parkir pertama.

1. Arus jenuh dasar

- a. Pada pendekat terlindung, nilai J_0 ditentukan menggunakan Persamaan 2.9 yang bergantung pada lebar efektif pendekat. Selain melalui persamaan tersebut, penetapan nilai J_0 juga dapat dilakukan dengan menggunakan diagram yang ditampilkan pada Gambar 2.8.

$$J_0 = 600 \times L_E \dots \dots \dots (\text{Pers.2.9})$$



Gambar 2.8 Arus jenuh dasar untuk pendekat terlindung (tipe P).
(Sumber: PKJI 2023).

b. Untuk pendekat terlawan (tipe O), dan:

- 1) apabila pendekat tidak dilengkapi lajur belok kanan terpisah, nilai J_0 ditentukan dengan menggunakan (Gambar 12-2 sampai 12-5 dalam PKJI 2023) sebagai fungsi dari lebar efektif (L_E), arus belok kanan (q_{BKa}), dan arus belok kanan dari arah berlawanan (q_{BKao}).
- 2) Jika pendekat dilengkapi dengan lajur belok kanan terpisah, penentuan nilai J_0 dilakukan menggunakan (Gambar 12-6 sampai Gambar 12-9 dalam PKJI 2023), dengan mempertimbangkan lebar efektif (L_E), arus belok kanan (q_{BKa}), dan arus belok kanan dari arah berlawanan (q_{BKao}).

2. Rasio arus terhadap arus jenuh

Dalam analisis rasio antara arus lalu lintas dan arus jenuh ($R_{q/J}$), terdapat beberapa hal penting yang perlu diperhatikan.

- a. Apabila arus belok kiri jalan terus (B_{KIJT}) dikeluarkan dari perhitungan, maka nilai arus q hanya mencakup arus lurus dan arus belok kanan.
- b. Apabila nilai $L_E = L_K$, maka arus yang diperhitungkan dalam nilai q hanya arus lurus saja.

- c. Apabila suatu pendekat memiliki dua fase, yaitu fase arus terlawan (O) dan fase arus terlindung (P), maka arus gabungan dihitung menggunakan pembobotan seperti pada persamaan 2.7.

$R_{q/J}$ dapat dihitung menggunakan persamaan 2.10 berikut:

$$R_{q/J} = \frac{q}{J} \dots\dots\dots (\text{Pers.2.10})$$

Keterangan:

$R_{q/J}$ = Rasio arus jenuh

q = Arus lalu lintas (SMP/jam)

J = Arus jenuh

Penjumlahan nilai rasio arus kritis ($R_{q/J_{kritis}}$) tertinggi dilakukan untuk mendapatkan nilai rasio arus simpang (RAS), yaitu:

$$RAS = \sum R_{q/J_{kritis}} \dots\dots\dots (\text{Pers.2.11})$$

Untuk rasio fase pada fase masing – masing dihitung dengan rumus:

$$RF = \frac{R_{q/J_{kritis}}}{RAS} \dots\dots\dots (\text{Pers.2.12})$$

Keterangan:

RAS = rasio arus simpang

RF = rasio fase

$R_{q/J_{kritis}}$ = nilai rasio arus puncak dari semua pendekata yang berangkat pada suatu fase sinyal

2.5 Faktor Penyesuain

Dalam perhitungan arus jenuh digunakan beberapa faktor penyesuaian. Untuk semua tipe pendekat, baik tipe P maupun tipe O, faktor yang diperhitungkan meliputi ukuran kota, hambatan samping, kelandaian, dan parkir. Sementara itu, faktor penyesuaian belok kanan (F_{BKa}) dan belok kiri (F_{BKl}) hanya diterapkan pada tipe pendekat P.

2.5.1 Faktor Penyesuaian Ukuran Kota (F_{UK})

Jumlah penduduk suatu kota memengaruhi karakteristik pengguna jalan dan volume kendaraan. Faktor penyesuaian ukuran kota dilihat pada Tabel 2.1 dibawah ini.

Tabel 2.1 Faktor penyesuaian ukuran kota (F_{UK})

Ukuran Kota	Penduduk (jiwa)	Faktor Koreksi Ukuran Kota (F_{UK})
Sangat kecil	<0,1	0,82
Kecil	0,1 – 0,5	0,88
Sedang	0,5 – 1,0	0,94
Besar	1,0 – 3,0	1,00
Sangat besar	>3,0	1,05

Sumber: PKJI 2023

2.5.2 Faktor Penyesuaian Hambatan Samping (F_{HS})

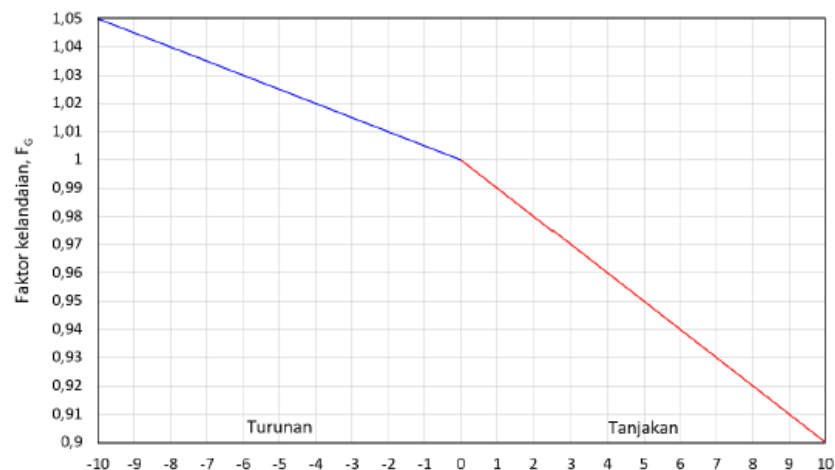
Tabel 2.2 Faktor penyesuaian hambatan samping.

Tipe lingkungan jalan	Hambatan samping	Rasio kendaraan tak bermotor					
		0,00	0,05	0,10	0,15	0,20	$\geq 0,25$
Komersial	Tinggi	0,93	0,88	0,84	0,79	0,74	0,70
	Sedang	0,94	0,89	0,85	0,80	0,75	0,70
	Rendah	0,95	0,90	0,86	0,81	0,76	0,71
Permukiman	Tinggi	0,96	0,91	0,86	0,82	0,77	0,72
	Sedang	0,97	0,92	0,87	0,82	0,77	0,73
	Rendah	0,98	0,93	0,88	0,83	0,78	0,74
Akses terbatas	Tinggi/Sedan g/Rendah	1,00	0,95	0,90	0,85	0,80	0,75

Sumber: PKJI 2023

2.5.3 Faktor Penyesuaian Kelandaian (F_G)

Faktor penyesuaian kelandaian (F_G) ditentukan berdasarkan grafik. Pada kelandaian 0%, nilai F_G adalah 1, sedangkan nilai F_G untuk kelandaian lainnya dapat dilihat pada Gambar 2.8 dibawah ini.



Gambar 2.9 Faktor penyesuaian kelandain (F_G).
(Sumber: PKJI 2023).

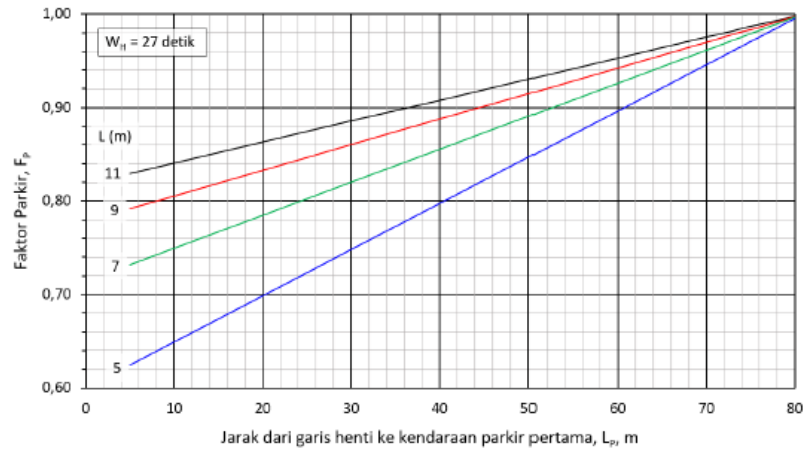
2.5.4 Faktor Penyesuaian Parkir (F_P)

F_P adalah Faktor koreksi J₀ yang dipengaruhi oleh jarak antara garis henti pada mulut pendekat dan kendaraan parkir pertama dapat ditentukan menggunakan grafik pada Gambar 2.9. Selain itu, nilai F_P juga dapat dihitung melalui Persamaan 2.11 yang mempertimbangkan pengaruh lama waktu hijau.

$$F_P = \left[\frac{\frac{L_P}{3} - \frac{(L-2) \times (\frac{L_P}{3} \cdot W_H)}{3}}{W_H} \right] \dots\dots\dots \text{(Pers. 2.13)}$$

Keterangan:

- L_p = Jarak antara garis henti ke kendaraan yang parkir pertama pada lajur belok kiri atau panjang dari lajur belok kiri yang pendek, (m).
- L = lebar pendekat, (m)
- W_H = adalah waktu hijau pada pendekat yang ditinjau (nilai normalnya 27 detik)



Gambar 2.10 Faktor penyesuaian parkir (F_p).
(Sumber: PKJI 2023).

2.5.5 Faktor Penyesuaian Belok Kanan (F_{BKa})

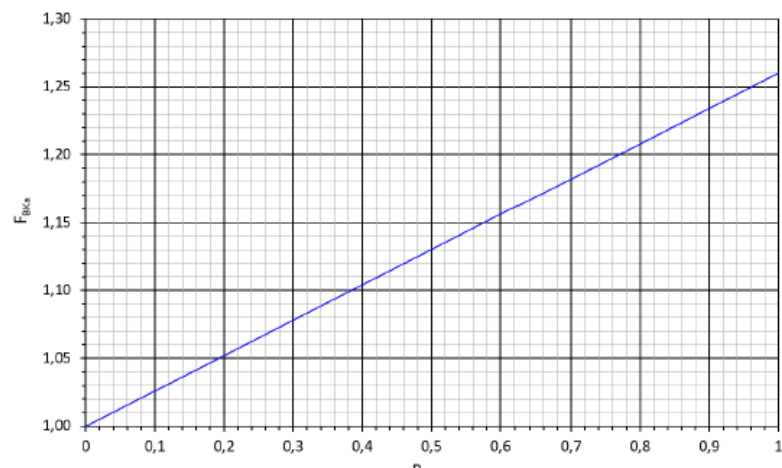
Faktor penyesuaian belok kanan (F_{BKa}) hanya diterapkan pada pendekat tipe P di jalan dua arah, dengan lebar efektif yang ditentukan oleh lebar masuk. Selain itu, nilai F_{BKa} dapat dihitung menggunakan rumus berikut:

$$F_{BKa} = 1,0 + R_{BKa} \times 0,26 \dots \dots \dots (\text{Pers.2.14})$$

Keterangan:

F_{BKa} = Faktor penyesuaian belok kanan

R_{BKa} = Rasio belok kanan



Gambar 2.11 Faktor penyesuaian belok kanan (F_{BKa}).
(Sumber: PKJI 2023).

2.5.6 Faktor Penyesuaian Belok Kiri (F_{BK_i})

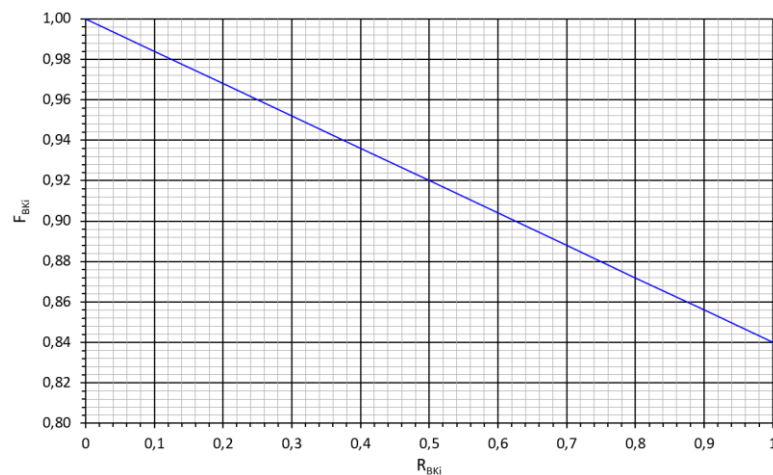
Faktor penyesuaian belok kiri hanya diterapkan pada pendekat tipe P tanpa belok kiri langsung, dengan lebar efektif yang ditentukan oleh lebar masuk. Nilai faktor penyesuaian belok kiri dapat dihitung menggunakan rumus berikut:

$$F_{BK_i} = 1,0 + R_{BK_i} \times 0,16 \dots \dots \dots (\text{Pers.2.15})$$

Keterangan:

F_{BK_i} = Faktor penyesuaian belok kiri

R_{BK_i} = Rasio belok kiri

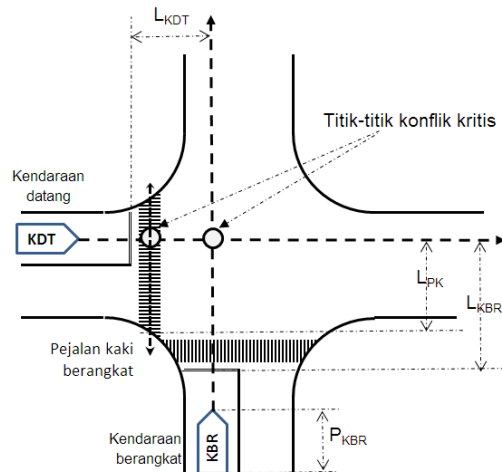


Gambar 2.12 Faktor penyesuaian belok kiri (F_{BK_i}).
(Sumber: PKJI 2023).

2.6 Waktu Isyarat APILL

2.6.1 Waktu Merah Semua dan Waktu Hijau Hilang Total

W_{MS} berfungsi untuk memastikan area konflik simpang APILL kosong pada akhir fase. Nilainya ditentukan oleh jarak dan kecepatan kendaraan berangkat dan datang menuju titik konflik serta panjang kendaraan berangkat (P_{KBR}). Jika waktu lintasan pejalan kaki (L_{PK}) lebih lama daripada lintasan kendaraan berangkat (L_{KBR}), maka L_{PK} menentukan panjang lintasan berangkat.



Gambar 2.13 Titik konflik kritis dan jarak untuk keberangkatan dan kedatangan. (Sumber: PKJI 2023).

Titik konflik kritis pada setiap fase (i) adalah titik yang menghasilkan nilai W_{MS} paling besar. Nilai W_{MS} per fase ditetapkan sebagai nilai maksimum dari dua perhitungan waktu lintasan, yaitu lintasan kendaraan berangkat dan lintasan pejalan kaki. Perhitungan W_{MS} dilakukan menggunakan Persamaan 2.14 berikut:

$$W_{MS} = \text{Max} = \left\{ \begin{array}{l} \frac{L_{KBR} + P_{KBR}}{V_{KBR}} - \frac{L_{KDT}}{V_{KDT}} \\ \frac{L_{PK}}{V_{PK}} \end{array} \right. \dots\dots\dots (\text{Pers.2.16})$$

Keterangan:

L_{KBR} , L_{KDT} , L_{PK} = Jarak dari garis henti ke titik konflik masing-masing untuk kendaraan yang berangkat, kendaraan yang datang, dan pejalan kaki (m)

P_{KBR} = panjang kendaraan yang berangkat (m)

V_{KBR} , V_{KDT} , V_{PK} = kecepatan untuk masing-masing kendaraan berangkat, kendaraan datang, dan pejalan kaki (m/det)

Gambar 2.13 menunjukkan titik-titik konflik kritis bagi kendaraan dan pejalan kaki. Nilai V_{KBR} , V_{KDT} , dan P_{KBR} menyesuaikan kondisi setempat atau menggunakan nilai alternatif tergantung dari lokasi setempat. Nilai – nilai dibawah ini dapat digunakan sebagai pilihan jika nilai baku tidak tersedia.

$V_{KDT} = 10 \text{ m/det}$ (kendaraan bermotor)

$V_{KBR} = 10 \text{ m/det}$ (kendaraan bermotor)

3 m/det (kendaraan tidak bermotor misalnya sepeda)

1,2 m/det (pejalan kaki)

$P_{KBR} = 5 \text{ m}$ (MP atau KS)

2 m (SM atau KTB)

Setelah periode W_{MS} pada setiap akhir fase ditentukan, waktu hijau hilang total (W_{HH}) pada simpang APILL dalam satu siklus dihitung sebagai penjumlahan seluruh waktu antar hijau menggunakan persamaan 2.17 dibawah ini.

$$W_{HH} = \sum_i (W_{MS} + W_K)_i \dots \dots \dots (\text{Pers.2.17})$$

Keterangan:

W_{MS} = Waktu merah semua, (detik)

W_K = Waktu kuning, (detik)

Waktu kuning APILL di Indonesia umumnya ditetapkan 3,0 detik, namun pada simpang dengan geometri luas atau kurang ideal perlu ditentukan melalui perhitungan.

2.6.2 Waktu Siklus dan Waktu Hijau

Waktu isyarat terdiri dari waktu siklus (s) dan waktu hijau (W_H). Penentuan awal dilakukan dengan menghitung waktu siklus menggunakan rumus Webster (1966) untuk meminimalkan tundaan, kemudian dilanjutkan dengan penetapan waktu hijau tiap fase. Nilai s diperoleh dari persamaan 2.18 berikut:

$$S = \frac{(1,5 \times W_{HH} + 5)}{(1 - \sum R_{q/J_{kritis}})} \dots \dots \dots (\text{Pers.2.18})$$

Keterangan:

S = Waktu siklus, dalam detik

W_{HH} = jumlah waktu hijau hilang persiklus (detik)

$R_{q/J}$ = Rasio arus, yaitu arus dibagi arus jenuh, q/J

$R_{q/J_{kritis}}$ = Nilai $R_{q/J}$ yang tertinggi dari semua pendekatan yang

berangkat pada fase yang sama

$\sum R_{q/Jkritis}$ = Rasio arus simpang (sama dengan jumlah semua $R_{q/J}$ kritis dari semua fase) pada siklus tersebut.

W_H ditetapkan menggunakan persamaan:

$$W_{Hi} = (S - W_{HH}) \times \frac{R_{q/Jkritis}}{\sum_i (R_{q/Jkritis})_i} \dots \dots \dots (Pers.2.19)$$

Keterangan:

W_{Hi} = Waktu hijau pada fase i, dalam detik

i = Indek untuk fase ke i

2.7 Jenis Kendaraan

Menurut PKJI 2023, Jenis kendaraan di perkotaan diklasifikasikan menjadi 3 (tiga) jenis saja yaitu SM, MP, dan KS. Karena pada jaringan jalan kota, BB dan TB sangat sedikit dan beroperasi pada jam-jam lenggang terutama tengah malam, sehingga dalam perhitungan kapasitas praktis BB dan TB dianggap tidak ada atau sekalipun ada maka dalam perhitungan dikategorikan sebagai KS.

Tabel 2.3. Klasifikasi jenis kendaraan

Kode	Jenis Kendaraan	Tipikal Kendaraan
SM	Kendaraan bermotor roda 2 (dua) dan 3 (tiga) dengan panjang <2,5 m	Sepeda motor, kendaraan bermotor roda 3 (tiga)
MP	mobil penumpang 4 (empat) tempat duduk, mobil penumpang 7 (tujuh) tempat duduk, mobil angkutan barang kecil, mobil angkutan barang sedang dengan panjang $\leq 5,5$ m	Sedan, jeep, minibus, mikrobus, <i>pickup</i> , truk kecil
KS	Bus sedang dan mobil angkutan barang 2 (dua) sumbu dengan panjang $\leq 9,0$ m	Bus tanggung, bus metromini, truk sedang

Sumber: PKJI 2023

2.7.1 Ekuivalensi Mobil Penumpang

Volume jam sibuk (q) dalam satuan SMP/jam telah mempresentasikan komposisi lalu lintas. Volume yang masih dinyatakan dalam kend/jam

perlu dikonversi ke SMP/jam menggunakan nilai EMP untuk MP, KS, BB, dan TB sesuai jenis kendaraan, tipe alinemen, dan volume lalu lintas.

Tabel 2.4. Ekuivalensi mobil penumpang (EMP)

Jenis Kendaraan	EMP untuk tipe pendekat	
	Terlindung	Terlawan
MP	1,00	1,00
KS	1,30	1,30
SM	0,15	0,40

Sumber: PKJI 2023

Tabel 2.5. EMP untuk JBH4/2

Tipe alinemen	q per arah kEND/jam	EMP		
		KS	BB	TB
Datar	s.d. 1250	1,2	1,2	1,6
	1251-2250	1,4	1,4	2,0
	2251-2800	1,6	1,7	2,5
	>2800	2,0	1,6	3,5

Sumber: PKJI 2023

Tabel 2.6. EMP untuk JBH6/2

Tipe alinemen	q per arah kEND/jam	EMP		
		KS	BB	TB
Datar	≤ 1500	1,2	1,2	1,6
	1501-2750	1,4	1,4	2,0
	2751-3250	1,6	1,7	2,4
	>3250	2,0	1,6	3,3

Sumber: PKJI 2023

2.8 Kinerja Lalu Lintas Simpang APILL

2.8.1 Derajat Kejenuhan

Derajat Kejenuhan (D_J) dihitung menggunakan persamaan berikut:

$$D_J = \frac{q}{C} \dots \dots \dots \text{(Pers.2.20)}$$

Keterangan:

D_J = Derajat kejenuhan

C = Kapasitas segmen jalan (SMP/jam)

q = Volume lalu lintas (SMP/jam)

2.8.2 Panjang Antrian

Jumlah rata-rata antrian kendaraan dalam satuan SMP pada awal isyarat lampu hijau (N_q) ditentukan dari penjumlahan kendaraan yang masih terhenti dari fase hijau sebelumnya (N_{q1}) dan kendaraan yang datang serta berhenti selama fase merah (N_{q2}). Nilai N_q ini diperkirakan melalui perhitungan menggunakan Persamaan 2.21, 2.22, dan 2.23.

$$N_q = N_{q1} + N_{q2} \dots \dots \dots (\text{Pers. 2.21})$$

Jika $D_J \leq 0,5$ maka, $N_{q1} = 0$;

Jika $D_J > 0,5$, maka,

$$N_{q1} = 0,25 \times s \times \left\{ (D_J - 1) + \sqrt{(D_J - 1)^2 + \frac{8 \times (D_J - 0,5)}{s}} \right\} \dots \dots \dots (\text{Pers. 2.22})$$

$$N_{q2} = s \times \frac{(1 - R_H)}{(1 - R_H \times D_J)} \times \frac{q}{3600} \dots \dots \dots (\text{Pers. 2.23})$$

Panjang antrian (P_A) dihitung dengan mengalikan jumlah antrian N_q (SMP) dengan luas rata-rata yang dibutuhkan satu mobil penumpang sebesar 20 m², kemudian dibagi dengan lebar masuk (m), sesuai dengan Persamaan 2.24.

$$P_A = N_q \times \frac{20}{L_M} \dots \dots \dots (\text{Pers. 2.24})$$

1. Rasio Kendaraan Henti

R_{KH} merupakan rasio jumlah kendaraan pada suatu pendekat yang harus berhenti akibat isyarat merah sebelum melewati simpang APILL terhadap total arus pada fase yang sama di pendekat tersebut. Nilai R_{KH} dapat dihitung menggunakan Persamaan berikut.

$$R_{KH} = 0,9 \times \frac{N_q}{q \times s} \times 3600 \dots \dots \dots (\text{Pers. 2.25})$$

Keterangan:

N_q = Jumlah rata-rata antrian kendaraan (SMP) pada awal isyarat hijau

S = Waktu siklus (detik)

q = Arus lalu lintas dari pendekata yang ditinjau (SMP/jam)

Jumlah rata-rata kendaraan berhenti (N_{KH}) adalah rata-rata jumlah berhenti yang dialami setiap kendaraan, termasuk berhenti berulang dalam antrian, sebelum melewati simpang APILL. Nilai N_{KH} dapat dihitung menggunakan persamaan berikut

$$N_{KH} = q \times R_{KH} \dots \dots \dots (\text{Pers. 2.26})$$

2.8.3 Tundaan

Tundaan pada simpang APILL disebabkan oleh dua komponen utama, yaitu tundaan lalu lintas (T_{LL}) dan tundaan geometri (T_G). Besarnya tundaan rata-rata pada suatu pendekat i ditentukan melalui perhitungan berikut.

$$T_i = T_{LLi} + T_{Gi} \dots \dots \dots (\text{Pers. 2.27})$$

Rumus tundaan lalu lintas rata – rata pada suatu pendekat:

$$T_{LL} = s \times \frac{0,5 \times (1 - R_H)^2}{(1 - R_H \times D_j)} + \frac{N_{q1} \times 3600}{c} \dots \dots \dots (\text{Pers. 2.28})$$

Rumus tundaan geometri:

$$T_G = (1 - R_{KH}) \times P_B \times 6 + (R_{KH} \times 4) \dots \dots \dots (\text{Pers. 2.29})$$

Keterangan:

P_B = Porsi kendaraan membelok pada suatu pendekat

2.9 Tingkat Pelayanan

Tingkat pelayanan merupakan ukuran kualitatif yang menggambarkan kinerja operasional arus lalu lintas berdasarkan persepsi pengguna jalan. Penilaian ini umumnya dipengaruhi oleh kecepatan, waktu tempuh, kebebasan bergerak, gangguan lalu lintas, serta aspek kenyamanan dan keselamatan. Tingkat pelayanan diklasifikasikan ke dalam enam kategori, yaitu A, B, C, D, E, dan F. Tingkat pelayanan A menunjukkan kondisi operasional terbaik suatu fasilitas, sedangkan tingkat pelayanan F merepresentasikan kondisi terburuk. Keterkaitan antara besarnya tundaan henti kendaraan (dalam detik) dengan tingkat pelayanan dapat dilihat pada Tabel 2.7 berikut.

Tabel 2.7 Kategori Tingkat Pelayanan

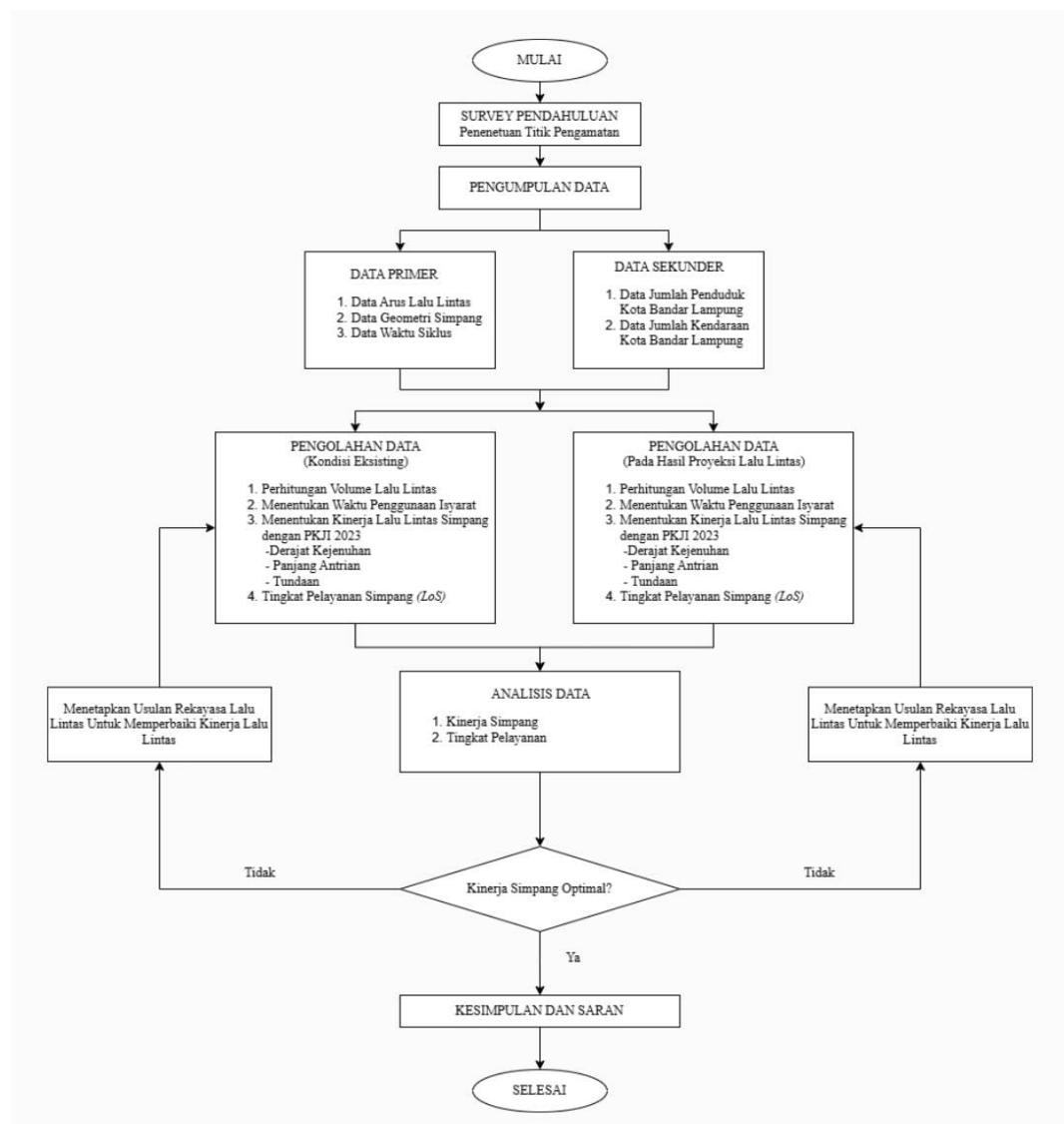
Tingkat Pelayanan	Derajat Kejenuhan	Tundaan (det/kend)	Kondisi Arus
A	0,35	≤ 5	Arus Bebas
B	0,54	5 - 15	Arus Stabil
C	0,77	15,1 – 25	Arus Stabil
D	0,93	25,1 – 40	Mendekati Arus Stabil
E	1	40,1 – 60	Arus Tidak Stabil
F	>1	>60	Arus Tertahan

Sumber: PM No. 96, Tahun 2015

III. METODE PENELITIAN

3.1 Diagram Alir Penelitian

Tahapan metodologi penelitian yang digunakan dalam penelitian ini dirangkum dan disajikan secara sistematis melalui diagram alir penelitian sebagaimana ditunjukkan pada gambar berikut.



Gambar 3.1. Bagan Alir Penelitian

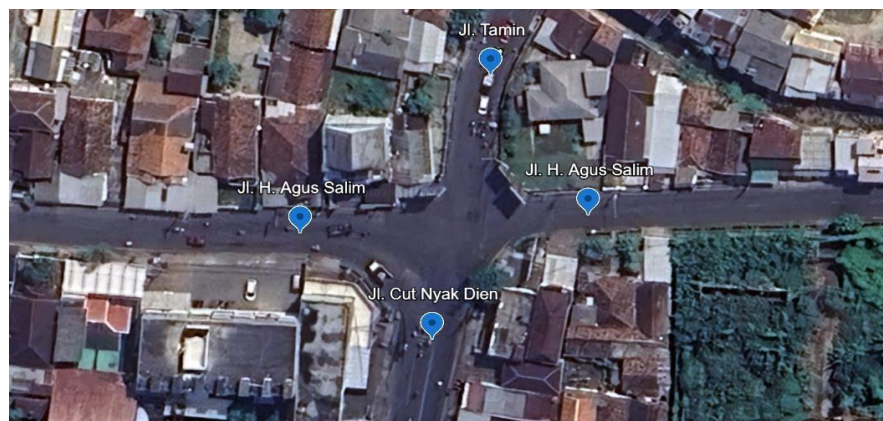
3.2 Survei Pendahuluan

Survei pendahuluan dilakukan sebagai langkah awal untuk mengamati kondisi lokasi penelitian, mengumpulkan informasi lapangan, serta menentukan titik-titik yang akan digunakan dalam proses pengamatan. Adapun tujuan survei pendahuluan adalah sebagai berikut:

1. Menetapkan titik pengamatan untuk pelaksanaan survei lalu lintas.
2. Mengidentifikasi kondisi geometrik jalan dan simpang di lokasi penelitian.
3. Mengetahui pola pergerakan lalu lintas pada setiap pendekat simpang.
4. Menentukan waktu pelaksanaan survei, khususnya periode jam puncak lalu lintas.
5. Mengidentifikasi potensi hambatan samping dan faktor lingkungan yang memengaruhi arus lalu lintas.
6. Menyesuaikan metode survei dengan kondisi lapangan agar data yang diperoleh akurat dan representatif.

3.2.1 Lokasi Penelitian

Lokasi penelitian ini berada pada Kawasan Jl. Tamin – Jl. H. Agus Salim, yang terletak di Kecamatan Tanjung Karang Pusat, Kota Bandar Lampung, Provinsi Lampung. Penggunaan sinyal dua fase pada persimpangan ini menimbulkan konflik antara kendaraan belok kanan dan arus lurus dari arah berlawanan saat fase hijau.



Gambar 3.2. Lokasi Penelitian di Jl. Tamin – Jl. H. Agus Salim.
(Sumber: Google Earth)

3.2.2 Waktu Penelitian

Penelitian oleh (Kesuma, 2021) berjudul “*Analisis Kinerja Simpang Empat Bersinyal Dengan Menggunakan Metode PKJI 2014 dan Perangkat Lunak PTV VISSIM (Studi Kasus Jl. Cut Nyak Dien – Jl. Tamin – Jl. H. Agus Salim).*”

Dalam penelitiannya, disebutkan bahwa waktu arus lalu lintas tertinggi terjadi pada pukul 06.00 – 08.00 pagi dan pukul 17.00 – 18.00 sore di Hari Senin. Penentuan rentang waktu ini didasarkan pada hasil pengamatan volume lalu lintas yang dilakukan secara berkala pada ruas jalan Jl. Cut Nyak Dien – Jl. Tamin – Jl. H. Agus Salim. Hasil pengamatan menunjukkan adanya peningkatan volume kendaraan yang signifikan pada interval waktu tersebut, yang berdampak langsung pada meningkatnya tingkat kemacetan dan panjang antrean kendaraan di simpang tersebut. Oleh karena itu, pengumpulan data arus lalu lintas difokuskan pada periode kondisi puncak (*peak hour*), yaitu pada pagi hari pukul 06.00–08.00 WIB dan sore hari pukul 17.00–18.00 WIB. Data lalu lintas dicatat secara manual dengan interval waktu setiap 30 menit.

3.2.3 Penentuan Titik Pengamatan

Penentuan titik pengamatan dilakukan dengan mempertimbangkan setiap pendekat simpang yang melayani berbagai jenis pergerakan kendaraan, meliputi arus lurus, belok kiri, dan belok kanan. Pengamat ditempatkan pada posisi yang memungkinkan seluruh manuver kendaraan dapat terlihat dengan jelas, baik mengikuti batas terpanjang antrian yang terbentuk saat kondisi lalu lintas puncak maupun pada jarak sekitar ± 50 meter dari garis henti. Penempatan ini bertujuan untuk meminimalkan kehilangan data akibat keterbatasan pandangan selama proses pencatatan. Ketentuan tersebut selaras dengan PKJI 2023 Bab 5, yang menyatakan bahwa survei geometri dan operasional simpang perlu memperhatikan jarak pengamatan yang memadai agar perilaku antrian dan pergerakan kendaraan dapat terekam secara utuh. Selain itu, pengelompokan titik

pengamatan berdasarkan arah pendekat memberikan kemudahan dalam memisahkan dan menganalisis kapasitas lajur secara lebih spesifik.

3.3 Pengumpulan Data

3.3.1 Data Primer

1. Data Arus Lalu Lintas

Survei arus lalu lintas dilakukan dengan metode penghitungan kendaraan (*traffic counting*) pada setiap titik pengamatan yang telah ditentukan. Setiap kendaraan yang melintasi titik pengamatan dicatat dan diklasifikasikan ke dalam tiga jenis, yaitu sepeda motor (SM), mobil penumpang (MP), dan kendaraan sedang (KS). Survei ini bertujuan untuk mengetahui kepadatan arus lalu lintas per jam serta komposisi kendaraan. Data yang dikumpulkan meliputi volume, kecepatan, kerapatan, dan kapasitas lalu lintas sebagai dasar analisis kinerja lalu lintas.

- a. Volume lalu lintas, Survei lalu lintas pada penelitian ini bertujuan untuk memperoleh gambaran jumlah arus lalu lintas serta karakteristik kendaraan yang beroperasi di lokasi penelitian. Pengumpulan data dilakukan melalui penghitungan dan pengelompokan kendaraan yang melintas pada ruas Jalan Tamin – Jalan H. Agus Salim, Kota Bandar Lampung.
- b. Kecepatan, Survei kecepatan dalam penelitian ini bertujuan untuk memperoleh gambaran kecepatan lalu lintas setempat. Pengumpulan data dilakukan melalui pengamatan terhadap rekaman video yang telah diambil sebelumnya pada lokasi survei dengan jarak pengamatan yang telah ditetapkan, sehingga kecepatan kendaraan dapat dianalisis secara akurat.
- c. Kerapatan, Kerapatan lalu lintas ditentukan berdasarkan hubungan antara arus dan kecepatan kendaraan.

- d. Kapasitas, Survei kapasitas dilakukan untuk menilai kemampuan dan kinerja simpang berdasarkan volume lalu lintas dan kecepatan kendaraan.
- e. Derajat Kejenuhan, Survei derajat kejenuhan dilakukan dengan membandingkan besarnya arus lalu lintas terhadap kapasitas simpang yang tersedia. Analisis ini bertujuan untuk menilai kinerja operasional suatu simpang. Nilai derajat kejenuhan yang diperoleh digunakan sebagai indikator untuk mengetahui apakah simpang tersebut masih mampu melayani arus lalu lintas dengan baik atau telah mengalami permasalahan kapasitas.

2. Data Geometri Simpang

Pengambilan data geometri simpang dilakukan untuk memperoleh parameter geometrik yang meliputi lebar jalan (L), lebar pendekat pada setiap lengan simpang (L_P), jumlah lajur dan lebar masing-masing lajur, lebar arus masuk (L_M) dan arus keluar (L_K), serta lebar bersih sisi kiri pada jalur belok (L_{BKIJT}). Data ini digunakan sebagai dasar dalam perhitungan kapasitas dan analisis kinerja simpang.

3. Data Survei Waktu Siklus

Pengambilan data lapangan untuk analisis kinerja simpang bersinyal dilakukan dengan mengamati kondisi lalu lintas secara langsung di lokasi penelitian. Survei difokuskan pada jam-jam sibuk karena pada periode tersebut aktivitas lalu lintas berada pada kondisi paling padat. Pengamatan waktu sinyal dilakukan menggunakan stopwatch dan bantuan rekaman video untuk memudahkan pencatatan durasi lampu hijau, kuning, dan merah pada setiap fase di masing-masing lengan simpang. Waktu siklus sinyal kemudian ditentukan berdasarkan selang waktu sejak suatu fase mulai menyala hingga fase yang sama kembali aktif pada siklus berikutnya.

4. Data Sekunder

Penelitian ini menggunakan data sekunder berupa jumlah penduduk dan jumlah kendaraan di Kota Bandar Lampung. Data tersebut diperoleh dari sumber resmi Badan Pusat Statistik (BPS) Kota Bandar Lampung dan digunakan sebagai data pendukung dalam analisis.

3.4 Pengolahan Data

Data yang telah dikumpulkan selanjutnya diolah untuk memperoleh hasil penelitian yang menggambarkan kinerja simpang pada kondisi eksisting. Data hasil pengamatan lapangan menjadi dasar dalam proses pengolahan dan analisis yang dilakukan. Seluruh tahapan perhitungan dalam penelitian ini mengacu pada Pedoman Kapasitas Jalan Indonesia (PKJI) 2023. Adapun perhitungan yang dilakukan dalam penelitian ini meliputi:

3.4.1 Menghitung Volume Lalu Lintas

Data volume arus lalu lintas dikumpulkan melalui survei lapangan dengan mencatat jumlah kendaraan yang melewati simpang. Pencatatan dilakukan setiap interval 30 menit, di mana setiap kendaraan dikelompokkan menurut jenisnya dan arah pergerakannya. Data hasil pencatatan ini kemudian dianalisis untuk mendapatkan nilai volume total lalu lintas.

Setelah data terkumpul, volume lalu lintas dihitung menggunakan persamaan 2.2.

3.4.2 Menghitung Waktu Isyarat pada Simpang

Ada beberapa langkah penting untuk mengetahui sinyal lalu lintas bekerja pada kondisi eksisting, yaitu:

1. Menentukan fase sinyal eksisting

Identifikasi fase sinyal dilakukan dengan memetakan urutan pemberian hak jalan untuk masing-masing pendekat di persimpangan. Tiap fase merepresentasikan kelompok arus lalu lintas yang dapat

bergerak secara bersamaan tanpa menimbulkan konflik seperti fase untuk arah Utara-Selatan atau Timur-Barat. Penentuan fase ini didasarkan pada observasi kondisi lapangan aktual, yang mencakup pola pergerakan kendaraan, kebutuhan separasi konflik, dan sistem pengaturan lampu yang telah diterapkan. Identifikasi ini kemudian menjadi landasan evaluasi untuk menilai kesesuaian fase yang ada dengan karakteristik lalu lintas di persimpangan tersebut.

2. Menentukan waktu siklus eksisting

Pengukuran waktu siklus dilakukan untuk mengetahui durasi satu putaran penuh operasi sinyal di persimpangan. Waktu siklus ini diperoleh dengan menjumlahkan seluruh durasi lampu hijau, kuning, dan merah dari semua fase dalam satu siklus. Pengukuran dilaksanakan melalui observasi langsung dan pencatatan timer sinyal di lapangan. Data waktu siklus yang ada diperlukan untuk mengevaluasi efisiensi pengaturan sinyal saat ini, sekaligus menjadi rujukan dalam menentukan apakah diperlukan optimasi guna meningkatkan kinerja persimpangan. Waktu siklus dapat dihitung menggunakan persamaan 2.16.

3.4.3 Menghitung Kinerja pada Simpang

Evaluasi kinerja lalu lintas mencakup tiga parameter utama yaitu derajat kejenuhan (D_J), panjang antrian (P_A), dan tundaan rata-rata kendaraan (T).

3.5 Proyeksi Arus Lalu Lintas 5 Tahun Mendatang

Proyeksi ini menganalisis dua variabel utama berdasarkan data 5 tahun terakhir yaitu jumlah penduduk dan jumlah kendaraan, untuk memproyeksikan kondisi 5 tahun ke depan. Data proyeksi penduduk digunakan dalam menentukan faktor koreksi ukuran kota yang akan memengaruhi perhitungan arus jenuh di persimpangan. Di sisi lain, proyeksi volume kendaraan berfungsi memperkirakan volume arus lalu lintas pada periode 5 tahun mendatang.

3.6 Analisis Data

Analisis data dilakukan berdasarkan tiga parameter utama yaitu lebar efektif pendekat, kapasitas simpang, dan panjang antrian. Hasil perhitungan parameter ini digunakan untuk mengevaluasi kelancaran arus lalu lintas di persimpangan bersinyal. Apabila volume lalu lintas melebihi kapasitas simpang dan terbentuk antrian kendaraan yang panjang, hal ini mengindikasikan terjadinya gangguan kelancaran arus pada pendekat tersebut. Jika analisis menunjukkan perlunya perubahan desain, maka rekomendasi diarahkan untuk meningkatkan kapasitas pendekat dan mengurangi tundaan kendaraan. Dengan demikian, hasil analisis tidak hanya menggambarkan kondisi yang ada saat ini, tetapi juga menyediakan solusi perbaikan untuk meningkatkan kelancaran lalu lintas. Adapun beberapa tahapan analisis yang dapat dilakukan yaitu sebagai berikut:

3.6.1 Analisis Kinerja Simping Bersinyal

Kinerja simpang bersinyal pada kondisi yang ada dianalisis menggunakan metode PKJI 2023. Analisis ini bertujuan untuk mengukur beberapa aspek penting tentang kondisi operasional simpang yaitu:

1. Derajat Kejenuhan (D_j) merupakan rasio antara volume lalu lintas yang terjadi dengan kapasitas simpang yang digunakan untuk menunjukkan tingkat beban atau tekanan lalu lintas pada simpang tersebut.
2. Panjang Antrian (P_A) menggambarkan rata-rata panjang fisik kendaraan yang mengantre di simpang dalam periode tertentu dan digunakan sebagai salah satu indikator terjadinya kemacetan.
3. Tundaan (T) merupakan waktu rata-rata yang dialami kendaraan akibat harus melambat atau berhenti saat melewati simpang, baik karena terbentuknya antrian maupun pengaturan waktu sinyal lalu lintas.

3.6.2 Tingkat Pelayanan Simpang

Tingkat pelayanan (*LoS*) digunakan untuk menggambarkan kualitas kinerja operasional simpang dalam melayani arus lalu lintas. Klasifikasi tingkat pelayanan umumnya dibedakan ke dalam beberapa kategori, mulai dari tingkat A yang menunjukkan kondisi pelayanan sangat baik hingga tingkat F yang mencerminkan kondisi lalu lintas sangat buruk atau kemacetan berat. Penentuan tingkat pelayanan untuk periode lima tahun mendatang diperlukan guna menilai apakah kinerja simpang masih mampu mengakomodasi peningkatan volume lalu lintas atau sudah memerlukan tindakan perbaikan, baik melalui penyesuaian desain maupun pengaturan lalu lintas.

3.7 Menetapkan Usulan Rekayasa Lalu Lintas

Rekayasa lalu lintas diperlukan jika kondisis eksisting dan proyeksi lima tahun mendatang menunjukkan derajat kejenuhan simpang melebihi batas PKJI 2023, menandakan kapasitas simpang tidak cukup untuk menampung volume lalu lintas. Berdasarkan penelitian terdahulu, masalah kelebihan volume dan panjang antrian dapat diatasi melalui kombinasi pendekatan geometrik, pengaturan sinyal, dan manajemen lalu lintas, seperti optimasi durasi siklus sinyal, pelebaran badan jalan, perubahan fase sinyal, serta peningkatan fasilitas pendukung.

1. Menurut Penelitian (Kesuma, 2021), yang berjudul Analisis Kinerja Simpang Empat Bersinyal Menggunakan Metode PKJI 2014 dan Perangkat Lunak PTV VISSIM (Studi kasus Jl. Cut Nyak Dien - Jl. Tamin dan Jl. H. Agus Salim), hasil analisis menunjukkan bahwa Sebelum dilakukan rekayasa lalu lintas, tundaan pada masing-masing pendekat berkisar antara 23,02–43,47 det/skr, dengan tundaan tertinggi terjadi pada pendekat timur. Panjang antrean pada kondisi awal berada pada rentang 29,49–42,79 m. Setelah dilakukan rekayasa berupa penyesuaian waktu siklus menggunakan metode Webster, tundaan berhasil diturunkan menjadi 21,16–25,09 det/skr, sedangkan panjang antrean berkurang menjadi 25,71–35,27 m. Secara kuantitatif, usulan rekayasa mampu mengurangi tundaan hingga sekitar 18

- detik/skr pada pendekat terpadat dan menurunkan panjang antrean maksimum sekitar 7,5 m, yang menunjukkan bahwa rekayasa yang diusulkan cukup efektif dalam meningkatkan kinerja simpang, terutama dalam menekan tundaan dan antrean kendaraan pada jam puncak.
2. Menurut penelitian (Ramzy et al., 2024), yang berjudul *Analisis Kinerja Simpang Bersinyal di Kota Malang Menggunakan PKJI 2023 (Studi Kasus: Simpang Dieng Malang)*, hasil analisis menunjukkan bahwa simpang pada kondisi eksisting memiliki derajat kejenuhan mencapai 1,133 dan menghasilkan tundaan rata – rata simpang sebesar 187,9 det/SMP yang termasuk dalam kategori Tingkat pelayanan F (sangat buruk). Usulan rekayasa yang diajukan adalah melakukan pelarangan belok kanan untuk semua pendekat dan mengubah dari 4 fase menjadi 2 fase waktu sinyal. Hasil penerapan usulan ini ditemukan mampu mempertahankan tingkat pelayanan B (baik) pada tahun 2028 dengan nilai tundaan rata – rata simpang sebesar 140,0 det/SMP.
 3. Studi oleh (Firdaus & Fauziah, 2024) pada *Kinerja Koordinasi Simpang Cebongan dan Simpang Taman Ringin Cebongan Berdasarkan PKJI 2023* menunjukkan bahwa solusi terbaik diperoleh dengan mengkoordinasikan kedua simpang menggunakan waktu siklus 100 detik. Pada penerapan ini, Simpang 4 Cebongan memiliki 4 fase sedangkan Simpang 3 Taman Ringin Cebongan memiliki 3 fase. Hasil koordinasi menghasilkan nilai *bandwidth* dari arah Barat ke Timur sebesar 29 detik dengan efisiensi 29%, dan dari Timur ke Barat sebesar 19 detik dengan efisiensi 19%. Dengan kondisi ini, panjang antrian simpang mengalami penurunan dari 198,32 m menjadi 179,93 m.
 4. Menurut penelitian (Pascha, 2023), yang berjudul *Analisis Kinerja Simpang Empat Bersinyal (Studi Kasus Jl. Panglima Polim – Jl. Pagar Alam – Jl. Soekardi Hamdani Kota Bandar Lampung)* hasil analisis menunjukkan bahwa simpang pada kondisi eksisting memiliki derajat kejenuhan mencapai 1,339, panjang antrean tertinggi (PA) = 281 m, dan nilai tundaan pada simpang (T) = 100,3 skr/det yang menghasilkan nilai *Level of Service (LoS)* = F atau buruk sekali. Usulan rekayasa yang diajukan adalah

melakukan perubahan manajemen lalu lintas dan perubahan geometri jalan. Dari hasil penerapan usulan ini didapatkan nilai derajat kejenuhan tertinggi (D_J) = 0,862, panjang antrian (P_A) = 139 m, dan nilai tundaan pada simpang (T) = 34,7 skr/det yang menghasilkan nilai *Level of Service (LoS)* = D atau cukup.

5. Menurut penelitian (Anugrah et al., 2025), yang berjudul *Analisa Kinerja Simpanf Bersinyal (APILL) dan Ruas Jalan pada jalan Raya Bogor – Jalan H Bokir Bin Dji”un, Kota Jakarta Timur Menggunakan PKJI 2023* hasil analisis menunjukkan adanya peningkatan kinerja simpang yang signifikan, ditandai dengan penurunan tundaan rata-rata dari 66 detik perkendaraan (*LoS F*) menjadi 13,7 detik perkendaraan (*LoS B*). Penerapan solusi alternatif berupa pengaturan ulang fase simpang serta penambahan fasilitas *U-turn* terbukti efektif dalam menurunkan tundaan dan derajat kejenuhan, sehingga meningkatkan tingkat pelayanan simpang menjadi *LoS B*.
6. Penelitian oleh (Handayasari et al., 2014) yang berjudul “*Optimalisasi Kinerja Apill Puri Kembangan Berdasarkan Pedoman Kapasitas Jalan Indonesia 2014*”. Hasil analisis menunjukkan bahwa nilai derajat kejenuhan pada kondisi eksisting telah melampaui batas ketentuan, sehingga diperlukan penyesuaian terhadap kriteria desain simpang. Pada kondisi awal, derajat kejenuhan tertinggi terjadi pada pendekat arah utara dengan nilai 0,96, disertai panjang antrean mencapai 92,96 m dan tundaan total sebesar 1.144.035. Upaya optimalisasi simpang dilakukan melalui perubahan fase sinyal, pengaturan waktu isyarat, serta penyesuaian lebar pendekat. Setelah optimalisasi, nilai derajat kejenuhan pada masing-masing lengan simpang menurun menjadi 0,69 pada arah utara, 0,70 pada arah selatan, 0,74 pada arah barat, dan 0,76 pada arah timur. Hasil ini menunjukkan bahwa kinerja simpang setelah optimalisasi telah memenuhi kriteria yang disyaratkan, yaitu nilai derajat kejenuhan kurang dari 0,85.

V. PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisis kinerja simpang bersinyal Jl. Tamin – Jl. H. Agus Salim menggunakan metode Pedoman Kapasitas Jalan Indonesia (PKJI) 2023, diperoleh kesimpulan sebagai berikut:

1. Hasil analisis menunjukkan bahwa kinerja simpang pada kondisi eksisting belum merata pada setiap pendekat. Permasalahan utama terdapat pada pendekat Selatan yang memiliki nilai derajat kejenuhan (D_j) melebihi batas yang disyaratkan, yaitu sebesar 1,24, dengan tundaan 107,78 det/SMP dan panjang antrean 175 m, sehingga termasuk tingkat pelayanan F (Arus Tertahan). Sementara itu, pendekat Utara, Timur, dan Barat masih memiliki kinerja yang relatif baik karena nilai tundaan dan derajat kejenuhan masih berada dalam batas yang dapat diterima.
2. Pada kondisi proyeksi 5 tahun mendatang, volume lalu lintas diperkirakan mengalami peningkatan sehingga berdampak pada penurunan kinerja simpang, terutama pada pendekat Selatan dengan nilai D_j meningkat menjadi 1,45, tundaan mencapai 154,84 det/SMP, dan panjang antrean 246 m. Pendekat Timur juga menunjukkan kecenderungan penurunan tingkat pelayanan menjadi D (Mendekati Arus Tidak Stabil), sedangkan pendekat Utara dan Barat masih berada pada kondisi yang relatif stabil. Hal ini menunjukkan bahwa tanpa adanya penanganan, kinerja simpang berpotensi semakin menurun di masa mendatang.

3. Berdasarkan beberapa skenario penanganan yang diuji, kombinasi perbaikan desain geometrik jalan dan optimasi waktu siklus sinyal memberikan hasil yang paling efektif dalam meningkatkan kinerja simpang. Pada pendekat Selatan, nilai D_j menurun menjadi sekitar 0,67 dengan tundaan sekitar 39 det/SMP, sehingga tingkat pelayanan meningkat menjadi B (Arus Stabil) pada kondisi eksisting dan pada kondisi 5 tahun mendatang. Hasil ini menunjukkan bahwa usulan perbaikan mampu mengurangi tundaan dan panjang antrean secara signifikan sehingga kinerja simpang menjadi lebih baik.

5.2 Saran

Berdasarkan hasil analisis yang telah dilakukan, beberapa saran yang dapat diberikan adalah sebagai berikut:

1. Hasil penelitian menunjukkan bahwa perubahan pengaturan waktu sinyal berpengaruh terhadap kinerja simpang, sehingga evaluasi waktu siklus secara berkala diperlukan untuk menyesuaikan perubahan kondisi arus lalu lintas.
2. Perubahan geometrik pada pendekat dengan nilai derajat kejenuhan tinggi menunjukkan peningkatan kapasitas simpang, sehingga penanganan berbasis kondisi geometrik dapat dipertimbangkan apabila tersedia ruang yang memadai.
3. Penelitian selanjutnya dapat mempertimbangkan pengaruh hambatan samping, perubahan tata guna lahan, serta pertumbuhan kendaraan yang dapat mempengaruhi kinerja simpang.
4. Hasil penelitian ini diharapkan dapat menjadi bahan pertimbangan bagi pihak terkait dalam meningkatkan kinerja simpang serta sebagai referensi untuk penelitian selanjutnya dengan karakteristik permasalahan yang serupa.

DAFTAR PUSTAKA

- Anugrah, F., Dermawan, W. B., & Isradi, M. (2025). Analisa Kinerja Simpang Bersinyal (APILL) dan Ruas Jalan pada Jalan Raya Bogor – Jalan H Bokir Bin Dji'un, Kota Jakarta Timur Menggunakan PKJI 2023. *RIGGS: Journal of Artificial Intelligence and Digital Business*, 4(3), 1143–1151. <https://doi.org/10.31004/riggs.v4i3.2121>
- Aulia, S. A., Simangunsong, J. E., & Budiman, E. (2024). *Analisis Kinerja LaluLintas Simpang Bersinyal dan Simpang Tidak Bersinyal Menggunakan PTV VISSIM (Studi Kasus : Simpang Bersinyal Jl. Suryanata - Jl. Kadrie Oening - Gg. Sabar dan Simpang Tak Bersinyal Jl. K.H Wahid Hasyim 2 - Jl. Padat Karya)*.
- Firdaus, A. Z. G., & Fauziah, M. (2024). *Kinerja Koordinasi Simpang Cebongan dan Simpang Taman Ringin Cebongan Berdasarkan PKJI 2023*.
- Handayasari, I., Rokhman, A., & Halusman, S. (2014). *Optimalisasi Kinerja Simpang APILL Puri Kembangan Berdasarkan Pedoman Kapasitas Jalan Indonesia 2014*. 11(1), 1–7.
- Haryono, W., & Atsila, Y. (2024). Windarwati Haryono. *Perencanaan Simpang Bersinyal Pada Simpang Tak Bersinyal Di Pasar Mijen Semarang*.
- Indonesia, K. P. R. (2015). *Peraturan Menteri Perhubungan Nomor PM 96 Tahun 2015 tentang Pedoman Pelaksanaan Kegiatan Manajemen dan Rekayasa Lalu Lintas*.
- Kesuma, E. (2021). *Analisis Kinerja Simpang Empat Bersinyal Menggunakan Metode PKJI 2014 dan Perangkat Lunak PTV VISSIM (Studi kasus Jl. Cut Nyak Dien - Jl. Tamin dan Jl. H. Agus Salim)*.
- Marga, D. J. B. (2023). *Pedoman Kapasitas Jalan Indonesia (PKJI) (Issue 09)*.
- Masita, M. (2023). *Evaluasi Kinerja Simpang Bersinyal Sebelum dan Sesudah Pemasangan Interlligent Traffic Control System (ITCS) (Studi Kasus : Simpang Bersinyal Dasan Cermen Kota Mataram)*.
- Pascha, T. (2023). *Analisis Kinerja Simpang Empat Bersinyal (Studi Kasus Jl.*

Panglima Polim - Jl. Pagar Alam- Jl. Soekardani Hamdani Kota Bandar Lampung.

Ramzy, M., Supriyanto, B., & Rahardjo, B. (2024). *Analisis Kinerja Simpang Bersinyal di Kota Malang Menggunakan PKJI 2023 (Studi Kasus: Simpang Dieng Malang)*.

Sinurat, R. M., Riani, D., & Robby. (2024). *Analisis Gap dan Lag pada Persimpangan Jalan Nyai Undang – Jalan Seth Adji. 16(2), 173–178.*

Vanidi, M. (2021). *Analisis Kinerja Simpang Empat Bersinyal Glugur Darat Medan Timur Sampai Tahun2031*. Universitas Sumatera Utara.