

**ANALISIS KINERJA PADA SIMPANG BERSINYAL
(STUDI KASUS : JL. DR RIVAI – JL. TEUKU UMAR,
KOTA BANDAR LAMPUNG)**

(SKRIPSI)

**Oleh :
ANISA ENSA PUTRI
NPM 2215011114**



**FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG
2026**

**ANALISIS KINERJA PADA SIMPANG BERSINYAL
(STUDI KASUS : JL. DR RIVAI – JL. TEUKU UMAR,
KOTA BANDAR LAMPUNG)**

Oleh :

ANISA ENSA PUTRI

Skripsi

**Sebagai Salah Satu Syarat Untuk Mencapai Gelar
SERJANA TEKNIK**

JURUSAN TEKNIK SIPIL

Fakultas Teknik Universitas Lampung



**FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG
2026**

ABSTRAK

ANALISIS KINERJA PADA SIMPANG BERSINYAL (STUDI KASUS : JL. DR RIVAI – JL. TEUKU UMAR, KOTA BANDAR LAMPUNG)

Oleh

ANISA ENSA PUTRI

Pertumbuhan penduduk dan kendaraan di kawasan perkotaan, khususnya Kota Bandar Lampung menyebabkan peningkatan beban lalu lintas yang berdampak pada menurunnya kinerja simpang bersinyal, ditandai dengan antrean panjang dan tundaan tinggi, sehingga diperlukan penanganan yang tepat dan terukur. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis kinerja simpang bersinyal serta mengevaluasi efektivitas perubahan desain geometri jalan dalam meningkatkan tingkat pelayanan simpang. Penelitian ini merupakan penelitian kuantitatif dengan pendekatan analitis, berlokasi di Simping Bersinyal Jalan Teuku Umar–Jalan Dr. Rivai, Kota Bandar Lampung, dengan subjek penelitian berupa arus lalu lintas pada masing-masing pendekat simpang. Metode analisis yang digunakan mengacu pada Pedoman Kapasitas Jalan Indonesia (PKJI) 2023, meliputi perhitungan derajat kejenuhan, panjang antrean, tundaan, dan tingkat pelayanan pada kondisi eksisting serta setelah perubahan desain geometri. Hasil penelitian menunjukkan Tingkat pelayanan beberapa lengan berada pada kategori D dan F berubah menjadi B dan C. Hal ini menunjukkan bahwa optimasi waktu sinyal dan penerapan perubahan desain geometri mampu menurunkan derajat kejenuhan, mengurangi panjang antrean dan tundaan, serta meningkatkan tingkat pelayanan simpang menjadi lebih baik dibandingkan kondisi eksisting. Dengan demikian, dapat disimpulkan bahwa perubahan desain geometri jalan efektif dalam meningkatkan kinerja simpang bersinyal dan menjawab permasalahan kemacetan pada lokasi penelitian.

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

ABSTRACT

Analysis of Signalized Intersection Performance (Case Study : Dr. Rivai Street – Teuku Umar Street, Bandar Lampung City)

By

ANISA ENSA PUTRI

Population and vehicle growth in urban areas, particularly in Bandar Lampung City, has increased traffic demand and reduced the performance of signalized intersections, as indicated by long queues and high delays, thus requiring proper and measurable handling. This study aims to analyze the performance of a signalized intersection and evaluate the effectiveness of geometric road design modifications in improving the level of service. The research employs a quantitative method with an analytical approach and was conducted at the signalized intersection of Teuku Umar Street–Dr. Rivai Street, Bandar Lampung City, with traffic flow at each approach serving as the research subject. The analysis method refers to the Indonesian Highway Capacity Guidelines (PKJI) 2023, including calculations of degree of saturation, queue length, delay, and level of service under existing conditions and after geometric design changes. The results indicate that the level of service at several approaches improved from categories D and F to B and C. This demonstrates that signal timing optimization and geometric design modifications can reduce the degree of saturation, shorten queue lengths and delays, and enhance intersection performance compared to existing conditions. Therefore, it can be concluded that geometric road design improvements are effective in enhancing signalized intersection performance and addressing congestion problems at the study location.

Keywords : intersection performance, signalized intersection, queue length, delay, level of service, PKJI 2023.

Judul Skripsi : ANALISIS KINERJA PADA SIMPANG BERSINYAL
(STUDI KASUS : JL. DR. RIVAI – JL. TEUKU
UMAR)

Nama Mahasiswa : ANISA ENSA PUTRI

Nomor Pokok Mahasiswa : 2215011114

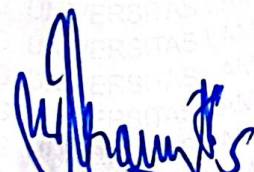
Program Studi : S1 TEKNIK SIPIL

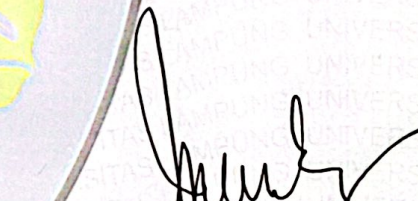
Jurusan : TEKNIK SIPIL

Fakultas : TEKNIK



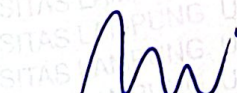
1. Komisi Pembimbing


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


Ir. Tas'an Junaedi, S.T., M.T.
NIP. 197107242000031001

2. Ketua Jurusan Teknik Sipil

3. Ketua Program Studi Teknik Sipil


Sasana Putra, S.T., M.T.
NIP. 196911112000031002


Dr. Suyadi, S.T., M.T.
NIP. 197412252005011003

MENGESAHKAN

1. Tim Penguji

Ketua

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

Sekretaris

: Ir. Tas'an Junaedi, S.T., M.T.

Penguji

Bukan Pembimbing

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

2. Dekan Fakultas Teknik


Dr. H. Ahmad Herison, S.T., M.T.
NIP. 196910302000031001.



LEMBAR PERNYATAAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini :

Nama : Anisa Ensa Putri
Nomor Pokok Mahasiswa : 2215011114
Jurusan : S1 Teknik Sipil
Fakultas : Teknik
Judul Skripsi : Analisis Kinerja Pada Simpang Bersinyal (Studi Kasus :
Jl. DR. Rivai – Jl. Teuku Umar, Kota Bandar Lampung)

Dengan ini menyatakan bahwa dalam skripsi ini tidak terdapat karya yang pernah diajukan untuk memperoleh gelar kesarjanaan disuatu perguruan tinggi dan sepanjang pengetahuan saya juga tidak terdapat karya atau pendapat yang pernah ditulis atau diterbitkan oleh orang lain, kecuali yang secara tertulis diacu dalam naskah ini dan disebut dalam daftar pustaka. Skripsi ini merupakan bagian dari penelitian dengan judul “Analisis Kinerja pada Simpang Bersinyal (Studi Kasus : Jl. DR. Rivai – Jl. Teuku Umar, Kota Bandar Lampung)”

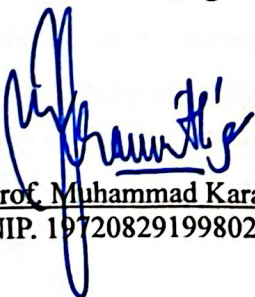
Atas pernyataan di atas, jika dikemudian hari ditemukan adanya ketidakbenaran, saya bersedia menanggung sanksi yang diberikan kepada saya dan saya sanggup dituntut sesuai hukum yang berlaku.

Bandar Lampung, 8 Maret 2026

Pembuat Pernyataan

Mengetahui,

Dosen Pembimbing Skripsi



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



Anisa Ensa Putri
NPM. 2215011114

RIWAYAT HIDUP



Penulis dilahirkan di Bukit Kemuning pada tanggal 30 April 2004. Penulis merupakan anak kedua dari Bapak Endang Sukmana dan Ibu Salamah. Penulis merupakan 3 bersaudara dengan 1 (satu) orang kakak bernama Firgiawan Ahmad Sonadjie serta 1 (satu) orang adik bernama Abqori Al Fathan.

Penulis memulai pendidikan di sekolah dasar di SDN 1 Tanjung Baru Timur yang diselesaikan pada tahun 2016. Pada tahun 2019, penulis menyelesaikan pendidikan Sekolah Menengah Pertama di SMPN 1 Bukit Kemuning dan melanjutkan Sekolah Menengah Atas di SMAN 1 Bukit Kemuning yang diselesaikan pada tahun 2022. Penulis diterima sebagai mahasiswa Jurusan Teknik Sipil, Universitas Lampung pada tahun 2022 melalui jalur SBMPTN.

Selama menjadi mahasiswa penulis aktif dalam organisasi kemahasiswaan diantaranya pernah menjadi anggota pada departemen hubungan luar di Himpunan Mahasiswa Teknik Sipil (HIMATEKS) pada periode 2024. Anggota muda divisi Hubungan Masyarakat BEM Fakultas Teknik (2024). Serta menjadi sekretaris pelaksana pada kegiatan *Civil for Society* (CFS) pada Oktober 2024. Pada Mei 2025, penulis mengikuti Kerja Praktik pada Proyek Pembangunan Penanganan Long Segment (Pemeliharaan Rutin, Pemeliharaan Berkala, Peningkatan/Rekonstruksi) Ruas Sp. Tugu Radin Intan - Exit Toll Kalianda (R.077) Kecamatan Kalianda. Sedangkan pada Januari – Februari 2025, penulis mengikuti Kuliah Kerja Nyata di Desa Pematang Baru, Kecamatan Palas, Kabupaten Lampung Selatan. Dalam bidang akademis, penulis pernah menjadi asisten dosen mata kuliah Gambar Bangunan Sipil. Selanjutnya penulis telah menyelesaikan tugas akhir penelitian dengan judul “Analisis Kinerja Pada Simpang Bersinyal (Studi Kasus : Jl. DR. Rivai – Jl. Teuku Umar, Kota Bandar Lampung).”

PERSEMBAHAN

Alhamdulillahhirabbalamin, kuucapkan syukur atas Karunia Mu dan dengan segala kerendahan hati meraih Ridho Illahi Robbi dan syafaat nabi Muhammad SAW, Kupersembahkan karya kecilku ini untuk orang-orang yang aku sayangi.

Kedua orang tuaku, Ayah dan Mama sebagai cinta pertama, sumber kekuatan dan pintu surgaku, yang telah memberikan cinta, dukungan, doa yang besar dan pengorbanan yang tak terhingga. Selalu sedia menjadi tempat bercerita, berkeluh kesah, dan senantiasa mendoakanku untuk meraih kesuksesan. Terima kasih telah memberikan saya kekuatan dan semangat untuk menyelesaikan studi ini.

Untuk kakak dan adikku tersayang yang sudah memberikan motivasi dan selalu ada di sisi saya dalam suka duka atas dukungan serta hiburan menjadi tempat pulang, Semoga Allah SWT memberikan kita kelancaran dalam mencapai kesuksesan guna membahagiakan Ayah dan Mama.

Keluarga besar Angkatan 2022 yang selalu membantu, memberikan semangat, selalu memberikan dukungan moral dan menemani perjalanan kuliah dari awal hingga akhir studi.

Skripsi ini saya persembahkan untuk diri saya sendiri sebagai bukti usaha dan kerja keras saya dalam menyelesaikan studi ini.

Prof. Muhammad Karami, S.T., M.Sc., Ph.D., Ir. Tas'an Junaedi, S.T., M.T., dan Dr. Ir. Rahayu Sulistyorini, S.T., M.T., selaku dosen pembimbing dan penguji yang telah meluangkan waktunya untuk memberikan bimbingan, arahan, dan motivasi dalam penyelesaian skripsi ini.

MOTTO

**“Allah tidak mengatakan hidup ini mudah. Tapi Allah berjanji, bahwa
sesungguhnya bersama kesulitan ada kemudahan”**

(Q.S Al-Insyirah: 5-6)

**“Hatiku tenang karena mengetahui bahwa apa yang melewatkan
tidak akan pernah menjadi takdirku, dan apa yang ditakdirkan untukku
tidak akan pernah melewatkan”**

(Umar Bin Khattab)

“It’s fine to fake it till you make it, till you do, till it’s true”

(Taylor Swift)

**“Barangkali aku lupa bahwa sedang duduk diatas do’a – do’a yang ku
langitkan dahulu”**

**“Saat merasa lelah atau tak berarti, ingatlah kebaikan yang lahir darimu tidak
selalu kamu lihat hasilnya, tapi dampaknya tinggal dihati seseorang”**

SANWACANA

Atas berkat rahmat hidayat Allah S.W.T. dengan mengucapkan puja – puji syukur Alhamdulillah, penulis mampu menyelesaikan skripsi yang berjudul “Analisis Kinerja Pada Simpang Bersinyal (Studi Kasus: Jl. DR. Rivai – Jl. Teuku Umar, Kota Bandar Lampung)” sebagai salah satu syarat dalam mendapatkan gelar Sarjana Teknik di Universitas Lampung. Pada penyusunan laporan ini, penulis mendapatkan banyak bantuan, dukungan, bimbingan, dan arahan dari berbagai pihak. Oleh karena itu, penulis mengucapkan terima kasih banyak kepada:

1. Ibu Prof. Dr. Ir. Lusmeilia Afriani, D.E.A., I.P.M, ASEAN, Eng., selaku Rektor Universitas Lampung.
2. Bapak Dr. H. 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 Pertama yang sudah memberikan kepercayaan penulis sebagai mahasiswa bimbingan Bapak dan sudah meluangkan waktunya dalam memberikan arahan, bimbingan, dan dukungan serta semangat dari segala sisi dalam proses penyelesaian skripsi. Penulis juga ingin berterima kasih atas kesabaran, kebaikan hati, dan pemahaman yang telah diberikan selama proses penulisan ini. Penulis berharap dengan sangat atas semua kebaikan dan didikan yang telah Bapak berikan akan selalu membawa berkah bagi Bapak dan seluruh keluarga.
6. Bapak Ir. Tas'an Junaedi, S.T., M.T., selaku Dosen Pembimbing Kedua atas segala bentuk bimbingan, arahan, serta masukan konstruktif yang telah diberikan selama proses perkuliahan maupun dalam penyusunan skripsi ini. Penulis berharap segala kebaikan yang Bapak berikan selalu membawa berkah kepada Bapak dan keluarga.
7. Ibu Dr. Rahayu Sulistiyorini, S.T., M.T. selaku Dosen Penguji yang selalu mampu memberikan pengetahuan baru, masukan, serta kritik dan saran yang sangat

bermanfaat baik dalam proses perkuliahan maupun dalam proses penyusunan skripsi ini. Penulis berharap kebaikan Ibu selalu membawa berkah kepada Ibu dan keluarga

8. Bapak Dr. Ir. Endro Prasetyo Wahono, S.T., M.Sc. selaku 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, Ayah penulis Bapak Endang Sukmana dan Ibu penulis Ibu Salamah, Aa tersayang Firgiawan Ahmad Sonadjie. dan Adik tersayang Abqori Al Fathan yang senantiasa memberikan doa, kasih sayang, perhatian, serta dukungan moral, material, juga menjadi penyemangat dan motivasi terbesar penulis dalam mengerjakan penulisan ini, semoga Allah memberikan selalu kebahagiaan untuk kita semua.
12. Keluarga besar Teknik Sipil Angkatan 2022 (TEGAS) yang menemani penulis berjuang dari awal perkuliahan, memberikan semangat dan dukungan sampai penulis bisa menyelesaikan penulisan ini.
13. YTTA dan Kelas D, yaitu teman – teman sekaligus sahabat kuliah penulis yang selalu menemani dan memberikan dukungan kepada penulis, baik dukungan hati dan perasaan serta memberikan hiburan. Terimakasih karena dengan adanya kalian menjadi salah satu alasan penulis tetap semangat dan membantu penulis pada awal penelitian ini. Terimakasih untuk pengalaman dan cerita dari awal perkuliahan sampai saat ini. Penulis berdoa agar kesuksesan datang pada kita semua.
14. Devi, Rindu, Jea, Meylinda, dan Caen, selaku teman perjuangan masa SMA penulis yang tetap memberikan dukungan dan mendoakan satu sama lain walaupun jarang bertemu. Terimakasih atas cerita yang telah kita lewati bersama, semoga kesuksesan segera kita dapatkan bersama.
15. Fariza Raisa Rafania, selaku sahabat perjuangan penulis dari awal penulisan ini sampai ada di titik ini. Terimakasih karena selalu ada kebersamaan dan memberi dukungan melalui candaan atau nasihat penulis baik duka maupun suka, semoga Allah membalas kebaikan dan kita tetap bersama sampai selamanya.

16. Teh Ica, Putri, Unie Fhelia dan Meta, sepupu seperjuangan penulis yang selalu memberikan dukungan kepada penulis, menemani dan insyaAllah akan selalu berjuang bersama untuk kesuksesan dan membanggakan keluarga besar tercinta.
17. Kepada seseorang yang namanya masih penulis sebut dalam doa dan telah tertulis di Lauhul Mahfuz. Terima kasih karena menjadi pengingat bagi penulis untuk terus berkembang dan memperbaiki diri, serta menjadi pribadi yang lebih baik di hadapan Tuhan dengan penuh semangat sebagai bentuk memantaskan diri.
18. Dan yang terakhir, kepada diri sendiri, Anisa Ensa Putri, setelah banyak hal yang terjadi. Terima kasih karena tidak menyerah saat lelah menghampiri, tetap berdiri saat ragu mencoba menjatuhkan, dan memilih terus berjalan meski jalan terasa panjang. Semua proses, air mata, doa, serta pengorbanan yang pernah terukir menjadi saksi bahwa perjuangan tidak pernah sia-sia. Dengan penuh kerendahan hati, penulis panjatkan syukur kepada Allah SWT yang senantiasa memberi kekuatan, kesabaran, dan jalan di saat terasa buntu, serta menuntun langkah hingga sampai pada titik ini. Semoga pencapaian ini menjadi pengingat dengan ikhtiar dan pertolongan-Nya, diri ini mampu melampaui batas yang dulu terasa mustahil, serta menjadi awal dari mimpi-mimpi besar lain yang menanti untuk diwujudkan. Teruslah tumbuh menjadi manusia yang lebih baik disetiap harinya, di hadapan Tuhan, manusia dan dirimu sendiri.

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,
Penulis,

2026

Anisa Ensa Putri

DAFTAR ISI

DAFTAR ISI.....	i
DAFTAR GAMBAR.....	iv
DAFTAR TABEL.....	v
I. PENDAHULUAN.....	1
1.1. Latar Belakang.....	1
1.2. Rumusan Masalah.....	3
1.3. Tujuan Penelitian.....	3
1.4. Batasan Penelitian.....	3
1.5. Manfaat Penelitian.....	4
1.6. Sistem Penulisan.....	4
II. TINJAUAN PUSTAKA.....	6
2.1. Perngertian Simpang.....	6
2.2. Simpang Bersinyal.....	7
2.3. Kapasitas Simpang APILL.....	8
2.3.1. Tipe Pendekat pada Simpang.....	9
2.3.2. Lebar Pendekat Efektif.....	10
2.3.3. Penentuan Lebar Efektif (LE).....	11
2.3.4. Arus Jenuh.....	12
2.3.5. Rasio Arus.....	13
2.4. Waktu Isyarat APILL.....	14
2.4.1. Fase Sinyal.....	14
2.4.2. Waktu Hijau Hilang Total (WHH).....	17
2.4.3. Waktu Siklus dan Waktu Hijau.....	17
2.5. Kinerja Lalu Lintas Simpang APILL.....	18
2.5.1. Arus Lalu Lintas dab EMP.....	18
2.5.2. Derajat Kejenuhan.....	19

2.5.3. Panjang Antrian.....	19
2.5.4. Rasio Kendaraan Henti.....	21
2.5.5. Tundaan.....	22
2.5.6. Tingkat Pelayanan (LoS).....	23
2.6.Perhitungan Pertumbuhan Penduduk dan Kendaraan dalam 5 Tahun	
Mendatang.....	23
III. METODOLOGI PENELITIAN.....	25
3.1.Diagram Alir Penelitian.....	25
3.2.Survei Pendahuluan.....	26
3.2.1. Lokasi Survei.....	26
3.2.2. Penentuan Titik Penelitian.....	27
3.2.3. Penentuan jam puncak.....	28
3.3.Pengumpulan Data.....	28
3.3.1. Data Primer.....	28
3.3.2. Data Sekunder.....	30
3.4.Pengolahan Data.....	31
3.4.1. Menghitung volume lalu lintas.....	31
3.4.2. Menghitung Waktu Isyarat pada Simpang.....	32
3.4.3. Menghitung Kinerja pada Simpang.....	32
3.5.Proyeksi Arus Lalu Lintas 5 Tahun Mendatang.....	33
3.6. Analisis Data.....	34
3.6.1. Analisis Kinerja Simpang Bersinyal.....	34
3.6.2. Tingkat Pelayanan Simpang.....	35
3.7.Menetapkan Usulan Rekayasa Lalu Lintas.....	35
IV. HASIL DAN PEMBAHASAN.....	36
4.1.Data Geometri Simpang Eksisting.....	36
4.2.Volume Lalu Lintas.....	39
4.3.Waktu Isyarat Simpang Kondisi Eksisting.....	42
4.3.1. Fase Sinyal.....	42
4.3.2. Waktu Siklus.....	43
4.4.Analisis Kinerja Simpang Bersinyal pada Kondisi Eksisting.....	45

4.4.1. Derajat Kejenuhan.....	46
4.4.2. Panjang Antrean (PA).....	54
4.4.3. Tundaan.....	56
4.5. Tingkat Pelayanan Simpang Eksisting.....	58
4.6. Analisis Kinerja Simpang Bersinyal 5 Tahun Mendatang.....	59
4.7. Usulan Usulan Rekayasa Lalu Lintas.....	66
4.7.1. Optimasi Waktu Siklus Sinyal.....	66
4.7.2. Perbaikan Desain Geometrik Jalan pada Simpang.....	70
4.7.3. Usulan Perubahan Desain Geometrik Jalan serta Mengatur Ulang Waktu Siklus Sinyal.....	73
V. PENUTUP.....	82
5.1. Kesimpulan.....	82
5.2. Saran.....	83
DAFTAR PUSTAKA.....	84

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1. Konflik pada Simpang 4 Lengan.....	8
Gambar 2.2. Tipe Pendekat Terlindung.....	9
Gambar 2.3. Tipe Pendekat Terlawan.....	10
Gambar 2.4. Lebar Pendekat dengan dan Tanpa Pulau Lalu Lintas.....	11
Gambar 2.5. Tipikal pengaturan fase APILL pada Simpang 3.....	15
Gambar 2.6. Tipikal Pengaturan APILL pada Simpang 4 dengan 2 Fase dan 3 Fase.....	15
Gambar 2.7. Tipikal Pengaturan APILL Simpang 4 dengan Fase.....	16
Gambar 3.1. Bagan Alir Penelitian.....	25
Gambar 3.2. Lokasi Penelitian di Jl. Dr Rivai– Jl. Teuku Umar.....	27
Gambar 3.4. Potongan Melintang Jalan.....	29
Gambar 4.1. Sketsa Simpang Tiga Bersinyal.....	38
Gambar 4.2. Fase Pergerakan Lalu Lintas Simpang Tiga Jalan Dr. Rivai – Jalan Teuku Umar Kondisi Eksisting.....	42
Gambar 4.3. Diagram Waktu Sinyal.....	44
Gambar 4.4. Faktor Kelandaian.....	50
Gambar 4.5. Grafik Jumlah Penduduk Kota Bandar Lampung.....	60
Gambar 4.6. Grafik Jumlah Kendaraan Kota Bandar Lampung.....	63
Gambar 4.7. Gambar Desain Perbaikan Geometrik Simpang.....	76
Gambar 4.8. Gambar Desain Perbaikan Geometrik Simpang pada Pendekat Selatan.....	77
Gambar 4.9. Gambar Desain Perbaikan Geometrik Simpang pada Pendekat Timur.....	78
Gambar 4.10. Gambar Desain Perbaikan Geometrik Simpang pada Pendekat Barat.....	79

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1. Ekuivalen Mobil Penumpang (EMP).....	19
Tabel 2.2. Tingkat Pelayanan Lalu Lintas.....	23
Tabel 4.1 Volume Lalu Lintas Simpang Pagi Hari.....	39
Tabel 4.2. Volume Lalu Lintas Simpang Sore Hari.....	40
Tabel 4. 3. Volume Lalu Lintas (SMP/jam) Pagi Hari.....	41
Tabel 4. 4. Volume Lalu Lintas (SMP/jam) Sore Hari.....	41
Tabel 4.5 Waktu Sinyal.....	44
Tabel 4.6. Arus Lalu Lintas Simpang.....	46
Tabel 4.7. Menentukan Lebar Efektif LE Pendekat.....	47
Tabel 4.8. Arus Jenuh Dasar Simpang.....	48
Tabel 4.9. Faktor Koreksi Ukuran Kota.....	48
Tabel 4.10. Faktor Hambatan Sampang.....	49
Tabel 4.10. Faktor Penyesuaian Belok Kanan dan Belok Kiri.....	51
Tabel 4.11. Arus Jenuh pada Kondisi Eksisting.....	52
Tabel 4.12. Nilai Kapasitas (C) Simpang.....	52
Tabel 4.13. Nilai Derajat Kejenuhan Simpang.....	53
Tabel 4.14. Nilai Jumlah Rata-Rata Kendaraan Antre (Nq).....	55
Tabel 4.15. Panjang Antrean Simpang.....	56
Tabel 4.16. Rasio Kendaraan Henti dan Jumlah Kendaraan Henti.....	57
Tabel 4.17. Nilai Tundaan pada Simpang.....	58
Tabel 4.18. Tingkat Pelayanan Simpang Eksisting.....	59
Tabel 4.19. Data Jumlah Penduduk Kota Bandar Lampung.....	60
Tabel 4.20. Proyeksi Jumlah Penduduk Kota Bandar Lampung 5 Tahun.....	61
Tabel 4.21. Data Jumlah Kendaraan Kota Bandar Lampung.....	62
Tabel 4.22. Proyeksi Jumlah Kendaraan Kota Bandar Lampung 5 Tahun Mendatang.....	64
Tabel 4.23. Jumlah Volume Lalu Lintas Sore 5 Tahun Mendatang.....	65

Tabel 4.24. Jumlah Volume Lalu Lintas Sore 5 Tahun Mendatang (SMP/Jam).....	65
Tabel 4.25. Faktor Penyesuaian Belok Kanan dan Belok Kiri 5 Tahun Mendatang	66
Tabel 4.26. Nilai Jumlah Rata-Rata Kendaraan Antre 5 Tahun Mendatang.....	66
Tabel 4. 27. Nilai Tundaan pada Simpang 5 Tahun Mendatang.....	67
Tabel 4.28. Kinerja Simpang 5 Tahun Mendatang.....	67
Tabel 4. 29. Waktu Siklus (150 detik) Usulan Optimasi Sinyal.....	69
Tabel 4.30. Perbandingan Kinerja Simpang Antara Kondisi Eksisting dan 5 Tahun Mendatang dengan Usulan Optimasi Waktu Siklus.....	70
Tabel 4.31. Perbandingan Kinerja Simpang Antara Kondisi Eksisting, dan 5 Tahun Mendatang dengan Usulan Geometri Jalan.....	72
Tabel 4.32. Kinerja Simpang Setelah Dilakukan Perubahan Desain Geometrik Jalan serta Mengatur Ulang Waktu Siklus Sinyal 5 Tahun Mendatang.....	74
Tabel 4.33. Kinerja Simpang Setelah Dilakukan Perubahan Desain Geometrik Jalan serta Mengatur Ulang Waktu Siklus Sinyal Kondisi Eksisting..	74
Tabel 4.34. Perbandingan Hasil Analisis Kinerja Simpang Kondisi Eksisting dan Kondisi 5 Tahun Mendatang, Tanpa dan Dengan Usulan Rekayasa Lalu Lintas.....	81

I. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Pertumbuhan pembangunan infrastruktur di kota-kota besar Indonesia seperti Bandar Lampung memicu peningkatan pesat jumlah kendaraan bermotor. Data Kementerian Perhubungan dan BPS menunjukkan pertumbuhan kendaraan di Sumatra mencapai 7–10% per tahun, terutama kendaraan pribadi dan sepeda motor. Akibatnya, beban lalu lintas di ruas utama dan simpang bersinyal meningkat, menimbulkan kemacetan, antrian, tundaan, dan risiko kecelakaan. Selain itu, desain geometrik jalan yang tidak diperbarui sesuai volume kendaraan turut menurunkan kinerja simpang (Widodo & Basith, 2017).

Simpang bersinyal berfungsi mengatur arus kendaraan secara efisien melalui pembagian waktu sinyal yang seimbang antar lengan simpang. Namun, di Kota Bandar Lampung, sistem sinyal sering tidak sesuai dengan volume lalu lintas aktual sehingga menimbulkan tundaan, antrian panjang, dan peningkatan waktu tempuh. Menurut (Asan Beni Tokan et al., 2023), derajat kejenuhan (DS) di beberapa simpang perkotaan dapat melebihi 0,90, menandakan kinerja simpang sudah melampaui kapasitas optimal. Kondisi ini juga terjadi pada simpang strategis Jalan Dr. Rivai–Jalan Teuku Umar yang menjadi titik utama pergerakan kendaraan antarkawasan kota. Faktor geometrik seperti lebar dan jumlah lajur masuk, radius tikungan, serta keberadaan elemen tambahan seperti *channelizing island* turut memengaruhi kapasitas arus kendaraan saat lampu hijau, besarnya antrian, dan tundaan yang terjadi (Purba et al., 2019). Oleh karena itu, analisis kinerja simpang dan penerapan manajemen lalu lintas yang tepat diperlukan untuk mengurangi kemacetan dan meningkatkan efisiensi arus lalu lintas (Putra et al., 2022).

Meskipun sejumlah penelitian telah dilakukan, sebagian besar masih berfokus pada optimasi waktu sinyal dan belum menyoroti hubungan langsung antara karakteristik arus lalu lintas dan desain geometri simpang terhadap kinerja bersinyal. Hal ini menciptakan celah penelitian penting, yaitu perlunya analisis yang mengintegrasikan data arus kendaraan aktual dengan kondisi geometrik dan siklus sinyal pada simpang bersinyal menggunakan pendekatan kuantitatif berbasis PKJI 2023 (Maulana et al., 2024).

Menurut Tintainformasi.com (2025), kemacetan di Jalan Teuku Umar disebabkan oleh meningkatnya volume kendaraan pada jam sibuk dan aktivitas masyarakat seperti unjuk rasa di sekitar lokasi. Detik Sumbagsel (2024) menambahkan bahwa kecelakaan dan kurangnya pengaturan lalu lintas turut memperparah kemacetan (Detik.com, 2024). Sementara itu, Radar Lampung (2024) melaporkan bahwa pemerintah telah menata ulang simpang Teuku Umar–Sultan Agung dengan menambah *traffic light* dan mengatur fase sinyal guna mengatasi ketidakseimbangan waktu sinyal serta meningkatnya jumlah kendaraan pribadi.

Kemacetan di simpang tiga bersinyal Jalan Dr. Rivai–Jalan Teuku Umar disebabkan oleh tingginya volume kendaraan yang hampir mencapai kapasitas jalan serta pengaturan lalu lintas yang kurang optimal. Jalan Teuku Umar sebagai ruas kolektor utama penghubung Rajabasa dan Tanjung Karang memiliki arus kendaraan sekitar 3.056 smp/jam dengan kapasitas 3.496 smp/jam, menghasilkan tingkat kejenuhan mendekati 1,0 atau *Level of Service* (LoS) rendah (Putri & Herison, 2020). Dengan beroperasinya RSUD DR.H. Abdul Moeloek berdasarkan aktivitas rumah sakit yang berada di Jalan Dr. Rivai tersebut akan mempengaruhi konflik lalu lintas yang terjadi di ruas Jalan Teuku Umar pada sekitaran rumah sakit. Konflik lalu lintas yang terjadi berupa terganggunya aktivitas arus lalu lintas akibat dari adanya kendaraan yang masuk dan kendaraan yang keluar dari rumah sakit. Berdasarkan survei Dinas Perhubungan Bandar Lampung (2024), simpang ini padat pada jam puncak pagi (06.30–08.30) dan sore (16.30–18.00) dengan derajat kejenuhan 0,88–0,93, menandakan kapasitas hampir mencapai batas maksimum. Karena itu, penelitian ini

penting untuk mengidentifikasi faktor penyebab tundaan serta memberikan solusi berbasis data guna meningkatkan efisiensi lalu lintas dan LoS di lokasi tersebut.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah dijelaskan sebelumnya, permasalahan utama yaitu :

1. Bagaimana kinerja pada simpang bersinyal yang ada pada Jl. Dr. Rivai – Jl. Teuku Umar?
2. Bagaimana alternatif solusi atau usulan rekayasa untuk mengoptimalkan kinerja arus lalu lintas dan tingkat pelayanan (*Level off Service*) pada simpang bersinyal di Jl. Dr. Rivai – Jl. Teuku Umar untuk periode mendatang?

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini yaitu sebagai berikut :

1. Untuk menganalisis kinerja dan tingkat pelayanan arus lalu lintas pada simpang bersinyal Jalan Dr. Rivai – Jalan Teuku Umar yang sering kali terjadi kemacetan, terutama pada jam puncak berdasarkan parameter derajat kejenuhan, tundaan rata-rata, panjang antrean, dan tingkat pelayanan (*Level off Service*).
2. Memberikan solusi atau usulan rekayasa agar dapat mengoptimalkan kinerja arus lalu lintas dan tingkat pelayanan (*Level off Service*) pada simpang bersinyal Jalan Dr. Rivai – Jalan Teuku Umar.

1.4 Batasan Masalah

1. Lokasi yang dipilih dalam penelitian ini difokuskan pada simpang bersinyal di simpang tiga Jl. Teuku Umar - Jl. Dr. Rivai. Analisis di luar lokasi tersebut tidak termasuk dalam lingkup penelitian.

2. Waktu penelitian yang dikumpulkan melalui survey lapangan mewakili waktu pada saat volume kendaraan maksimum, yaitu pada hari kerja (Selasa) pukul 06.30-08.30 (jam sibuk pagi), dan 16.00-18.00 (jam sibuk sore).
3. Data lalu lintas yang digunakan adalah volume arus kendaraan maksimum pada hari Selasa. Pemilihan volume tertinggi ini bertujuan untuk mewakili kondisi terpadat, sehingga peneliti dapat menentukan bagaimana kinerja simpang pada saat beban lalu lintas mencapai puncaknya.
4. Metode perhitungan dan analisis pada simpang menggunakan pendekatan Pedoman Kapasitas Jalan Indonesia (PKJI 2023).
5. Rekayasa lalu lintas berdasarkan Pedoman Kapasitas Jalan Indonesia 2023, bagaimana simpang dapat dioptimalkan untuk meningkatkan kinerja lalu lintas dan tingkat pelayanan (*LoS*).
6. Rekayasa lalu lintas pada penelitian ini hanya berlaku untuk 5 tahun kedepan.
7. Variabel yang digunakan dalam proyeksi untuk 5 tahun yaitu jumlah penduduk dan jumlah kendaraan dari BPS (Badan Pusat Statistik) Kota Bandar Lampung.

1.5 Manfaat Penelitian

Penelitian ini diharapkan dapat memberikan manfaat, yaitu :

1. Secara teoritis, Penelitian ini bermanfaat untuk menambah pengetahuan di bidang rekayasa transportasi, khususnya dalam menganalisis kinerja simpang bersinyal dan merancang usulan rekayasa lalu lintas dengan penerapan PKJI 2023.
2. Hasil studi ini dapat menjadi dasar bagi Dinas Perhubungan atau lembaga terkait dalam meningkatkan produktivitas lalu lintas. Dengan data dan analisis yang komprehensif, mereka dapat menentukan durasi sinyal atau melakukan rekayasa geometrik yang lebih efektif di simpang tersebut.

1.6 Sistematika Penulisan

Adapun sistematika penulisan yang digunakan dalam penelitian ini adalah:

BAB I : PENDAHULUAN

Bagian ini menjelaskan mengenai latar belakang penelitian, rumusan masalah, tujuan penelitian, batasan-batasan di dalam penelitian, manfaat penelitian, serta sistematika penulisan.

BAB II : TINJAUAN PUSTAKA

Bagian ini menjelaskan mengenai landasan teori maupun studi literatur yang digunakan dalam penelitian ini.

BAB III : METODOLOGI PENELITIAN

Bagian ini menjelaskan uraian metode penelitian yang digunakan, bagan alir penelitian, serta tahapan-tahapan yang dilakukan dalam penelitian.

BAB IV : HASIL DAN PEMBAHASAN

Bagian ini menjelaskan tentang penyajian data serta proses tata cara perhitungan analisis kinerja simpang bersinyal.

BAB V: KESIMPULAN DAN SARAN

Bagian ini menjelaskan kesimpulan yang diperoleh dalam penelitian yang telah dilakukan serta memberikan saran berdasarkan manfaat yang ditemukan dari penelitian ini.

II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Pengertian Simpang

Simpang merupakan daerah pertemuan dua atau ruas jalan atau lebih yang berpotongan atau bersilangan sehingga menjadi tempat terjadinya konflik lalu lintas. Menurut Haryanto (2004) , persimpangan jalan adalah suatu daerah di mana dua atau lebih ruas jalan saling bertemu atau berpotongan yang mencakup fasilitas jalur jalan dan tepi jalan, di mana lalu lintas dapat bergerak di dalamnya.

Persimpangan menurut AASHTO (2001), memiliki arti sebagai daerah umum dimana dua jalan atau lebih bergabung atau bersilangan, termasuk jalan dan fasilitas tepi jalan untuk pergerakan lalu lintas di dalamnya. Pengaturan lalu lintas pada persimpangan merupakan hal yang paling kritis dalam pergerakan lalu lintas. Pada persimpangan dengan arus lalu lintas yang besar, sangat diperlukan pengaturan menggunakan lampu lalu lintas. Pengaturan dengan lampu lalu lintas ini diharapkan mampu mengurangi antrian yang dialami oleh kendaraan dibandingkan jika tidak menggunakan lampu lalu lintas.

Identifikasi masalah menunjukkan lokasi kemacetan terletak pada persimpangan atau titik-titik tertentu yang terletak pada sepanjang ruas jalan. Masalah – masalah yang saling terkait pada persimpangan yaitu Volume dan kapasitas yang dapat mengganggu hambatan, desain geometrik dan kebebasan pandang, perilaku lalu lintas dan panjang antrian, kecepatan, pengaturan lampu jalan, kecelakaan dan keselamatan, serta parkir.

Untuk mengurangi titik konflik yang ada, dilakukan pemisahan waktu pergerakan arus lalu lintas atau yang disebut fase. Pengaturan pergerakan arus lalu lintas dengan fase-fase ini dapat mengurangi titik konflik yang ada sehingga diperoleh pengaturan lalu lintas yang lebih baik untuk menghindari besarnya antrian, tundaan, kemacetan dan kecelakaan. Selain itu jika jumlah kendaraan yang melewati suatu simpang melebihi kapasitas

simpang, maka terjadi antrian kendaraan dan menimbulkan kemacetan lalu lintas. Kapasitas simpang bersinyal dapat dihitung dengan rumus seperti berikut :

$$C = J \times \frac{W_H}{S} \quad (2.1)$$

Dimana :

C = Kapasitas simpang APILL (smp/jam)

J = Arus jenuh (smp/jam)

W_H = Total waktu hijau (detik)

S = Waktu siklus (detik)

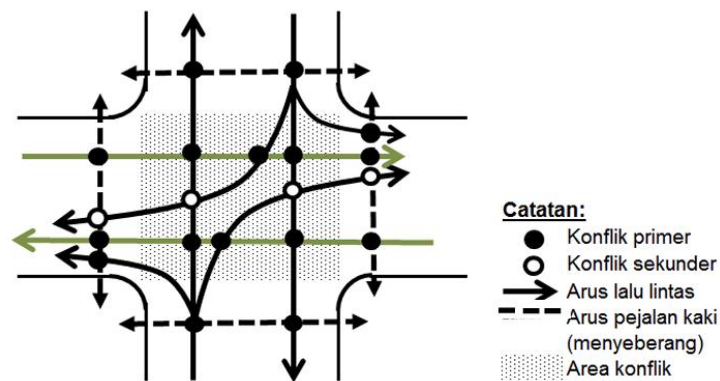
Persimpangan dibedakan menjadi 2 (dua) bagian yaitu simpang bersinyal dan simpang tak bersinyal.

2.2. Simping Bersinyal

Simpang bersinyal adalah persimpangan yang diatur dengan lampu lalu lintas (*traffic light*) dari setiap pendekatnya diatur oleh lampu sinyal untuk melewati persimpangan secara bergilir. Berdasarkan Pedoman Kapasitas Jalan Indonesia 2023, tujuan penggunaan APILL pada persimpangan yaitu mempertahankan kapasitas simpang pada jam puncak dan mengurangi kejadian kecelakaan akibat tabrakan antara kendaraan dari arah yang berlawanan. Dalam mengelola simpang bersinyal, Pedoman Kapasitas Jalan Indonesia (PKJI) 2023 menjadi standar terbaru yang digunakan untuk menganalisa performa simpang. Analisis simpang bersinyal melibatkan penghitungan kapasitas, derajat kejenuhan, waktu siklus, dan panjang antrian yang terjadi di setiap pendekat simpang. Pedoman ini juga mengatur syarat teknis 8 perencanaan, seperti pengaturan waktu siklus lampu dan fase lampu yang sesuai karakteristik masing-masing simpang (PKJI, 2023).

Pengaturan fase lampu lalu lintas mengurangi konflik antar arus kendaraan di persimpangan dengan memisahkan waktu perjalanan sehingga tercipta aliran yang aman dan teratur. Contohnya pada persimpangan empat lengan terdapat 32 titik konflik yang

meliputi benturan langsung antar kendaraan (konflik primer) dan gangguan akibat interaksi arus maupun pejalan kaki (konflik sekunder).



Gambar 2.1. Konflik pada Simpang 4 Lengan.

Konflik lalu lintas di persimpangan merupakan salah satu penyebab terjadinya kemacetan lalu lintas. Konflik ini disebabkan oleh kebutuhan akan ruang jalan yang sama pada waktu yang sama pula dari dua atau lebih pemakai jalan.

1. Konflik primer, yaitu konflik yang terjadi antara arus lalu lintas yang berpotongan.
2. Konflik sekunder, yaitu konflik yang terjadi antara arus lurus lalu lintas yang akan membelok atau arus membelok yang berpotongan dengan arus lurus.

2.3. Kapasitas Simpang APILL

Kapasitas suatu simpang merupakan kemampuan suatu simpang dalam menampung arus lalu lintas secara maksimal dalam satu jam dan dinyatakan 9 dalam satuan smp/jam.

Kapasitas simpang dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut :

$$C = J \times WH_s$$

Keterangan :

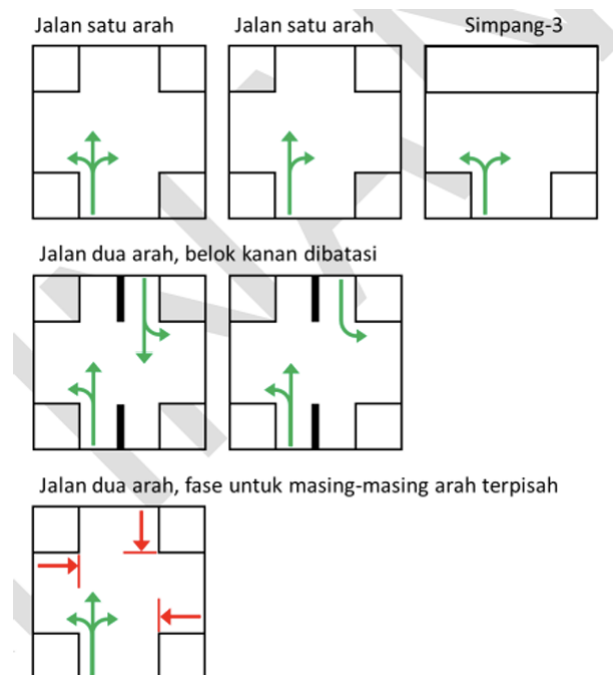
- C = Kapasitas simpang (SMP/jam)
 J = Arus jenuh (SMP/jam)
 WH = Waktu hijau dalam satu siklus (detik)
 s = Waktu siklus (detik)

2.3.1. Tipe Pendekat pada Simpang

Jika arus lalu lintas di simpang bergerak pada fase berbeda, kapasitas tiap fase harus dihitung sendiri-sendiri. Misalnya, arus lurus dan belok kanan yang menggunakan jalur terpisah dianalisis terpisah. Begitu juga jika satu pendekat memiliki tipe terlindung dan terlawan di fase berbeda, analisisnya juga dipisah sesuai aturan masing-masing. Ini supaya hasil analisis lebih tepat dan sesuai kondisi nyata.

1. Tipe P (Terlindung)

Pada tipe ini arus berangkat tidak memiliki konflik dengan arus lalu lintas dari arah berlawanan.



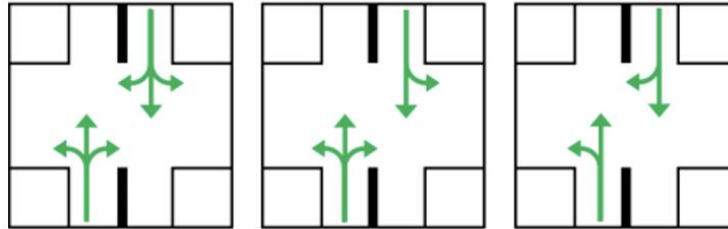
Gambar 2.2 Tipe Pendekat Terlindung

Sumber ; PKJI 2023

2. Tipe O (Terlawan)

Pada tipe ini arus berangkat memiliki konflik dengan arus lalu lintas dari arah yang berlawanan.

Jalan dua arah, arus berangkat dari arah yang berlawanan dalam Fase yang sama. Semua belok kanan tidak dibatasi



Gambar 2.3. Tipe Pendekat Terlawan

Sumber : PKJI 2023

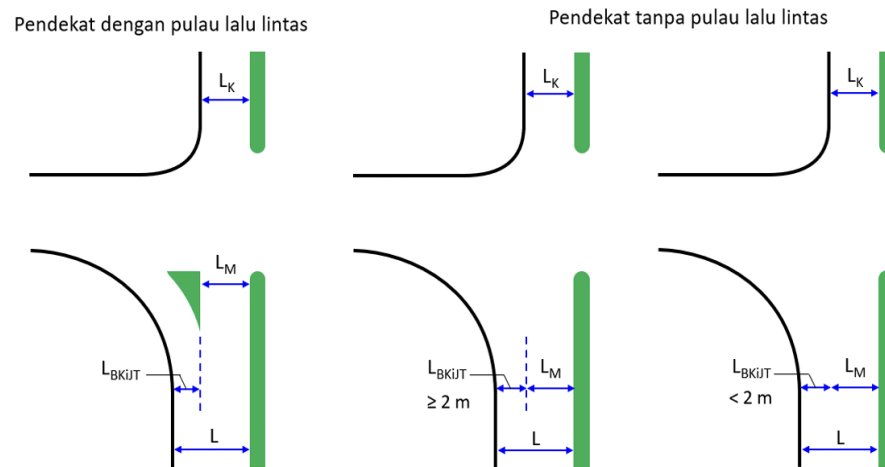
2.3.2. Lebar Pendekat Efektif

Lebar pendekat efektif (LE) dihitung dengan mempertimbangkan beberapa parameter, yaitu lebar ruas pendekat awal (L), lebar masuk (L_M), dan lebar keluar (L_K). Dalam menentukan nilai lebar masuk (L_M), terdapat beberapa kondisi yang perlu diperhatikan, antara lain:

- Pendekat dengan pulau lalu lintas Jika pada pendekat terdapat pulau lalu lintas, maka arus belok kiri memiliki jalur tersendiri. Dalam kondisi ini, lebar masuk (L_M) ditetapkan sebagai jarak antara tepi pulau lalu lintas dengan median jalan, sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 2.4 (kiri).
- Pendekat tanpa pulau lalu lintas Pada pendekat yang tidak memiliki pulau lalu lintas, arus belok kiri dapat menggunakan jalur khusus atau bergabung dengan arus lurus, bergantung pada ketersediaan ruang. Jika lebar jalur belok kiri jalan terus (L_{BKIJT}) lebih dari 2 meter, maka arus belok kiri dapat membentuk antrian sendiri. Dengan demikian, lebar masuk (L_M) dihitung menggunakan rumus:

$$L_M = L - L_{BKIJT} \text{ (Gambar 2.4 bagian Tengah)}$$

Namun, apabila L_{BKIJT} kurang dari 2 meter, maka arus belok kiri dianggap menyatu dengan arus lalu lintas lurus, sebagaimana diperlihatkan pada Gambar 2.4 kanan.



Gambar 2.4. Lebar Pendekat dengan dan Tanpa Pulau Lalu Lintas.

Sumber : PKJI 2023

2.3.3. Penentuan Lebar Efektif (LE)

Menurut Pedoman Kapasitas Jalan Indonesia (2023), geometrik jalan terdiri dari pendekat, lebar masuk, lebar keluar, lebar belok kiri langsung, dan lebar efektif. Pendekar adalah jalur pada lengan simpang untuk kendaraan mengantri sebelum keluar melewati garis henti. Penentuan lebar pendekat efektif mempertimbangkan lebar ruas pendekat (L), lebar masuk (L_M), dan lebar keluar (L_K). Lebar pendekat efektif dipengaruhi oleh lebar belok kiri jalan terus pada fase merah (L_{BKIJT}). Lebar pendekat efektif dapat dihitung dengan persamaan berikut :

1. Jika ($L_{BKIJT} \geq 2$ meter, maka arus kendaraan belok kiri jalan terus dapat mendahului antrian kendaraan lurus dan belok kanan pada isyarat merah.

Dalam kondisi ini L_E dihitung dengan persamaan :

$$L_E = \text{Min} \left\{ \begin{array}{l} L - L_{BKIJT} \\ L_M \end{array} \right.$$

- Jalur belok kiri dianggap eksklusif, artinya kendaraan belok kiri bisa bergerak tanpa harus menunggu kendaraan lurus/kanan ketika lampu merah.

- Maka arus belok kiri (q_{BKIJT}) dikeluarkan dari perhitungan kapasitas antrian utama, sehingga yang dihitung hanya arus lurus dan belok kanan

$$q = q_{LRS} + q_{BKa}$$

Keterangan :

q_{LRS} = arus lurus (*Straight Through Flow*)

q_{BKa} = arus belok kanan (*Right Turn Flow*)

q_{BKIJT} = arus belok kiri jalan terus (*Left Turn Flow – Jalan Terus*)

2. Jika $L_{BKIJT} \leq 2$ meter (jalur belok kiri sempit)

- Jalur belok kiri tidak dianggap eksklusif, artinya kendaraan belok kiri tetap ikut antre bersama kendaraan lurus/kanan.
- Maka arus belok kiri (q_{BKIJT}) harus dimasukkan dalam perhitungan kapasitas total.
- lebar efektif (LE) dalam kondisi ini lebih kompleks:

$$L_E = \min \begin{cases} L \\ L_M \\ L \times (1 + R_{BKIJT}) - L_{BKIJT} \end{cases}$$

- Periksa L_K (hanya berlaku untuk pendekat tipe P). Jika nilai $L_K < L_M \times (1 - RBKa)$, maka $L_E = L_K$.

2.3.4. Arus Jenuh

Arus jenuh (J) adalah tingkat maksimum arus kendaraan yang dapat mengalir melewati jalan masuk pada sebuah simpang dalam kondisi ideal. Arus jenuh dasar (J_0) merupakan nilai arus jenuh pada kondisi arus lalu lintas dan geometri jalan yang ideal, sehingga faktor koreksi untuk J_0 adalah satu. Nilai J dapat dihitung dengan rumus:

$$J = J_0 \times F_{HS} \times F_{UK} \times F_G \times F_P \times F_{BKl} \times F_{BKa} \times \dots \dots \dots (2.2)$$

Dengan :

J_0 = Arus jenuh dasar (smp/jam)

F_{UK} = Faktor penyesuaian J_0 terkait ukuran kota

F_{HS} = Faktor penyesuaian J_0 akibat HS lingkungan jalan

F_G = Faktor penyesuaian J_0 akibat kelandaian memanjang pendekat

F_P = Faktor penyesuaian J_0 akibat adanya jarak garis henti pada mulut pendekat terhadap kendaraan yang parker pertama

F_{BKa} = Faktor penyesuaian J_0 akibat arus lalu lintas yang membelok ke kanan

F_{BKl} = Faktor penyesuaian J_0 akibat arus lalu lintas yang membelok ke kiri

Untuk pendekat terlindung arus jenuh dasar ditentukan sebagai fungsi dari lebar efektif pendekat (L_E) :

$$J_0 = 600 \times L_E$$

2.3.5. Rasio Arus

Rasio arus (Rq/J) ialah rasio arus kemudian lintas terhadap arus jenuh masing-masing pendekat. Dalam menganalisis rasio arus terhadap arus jenuh, perlu diperhatikan bahwa:

1. Jika arus BKiJT wajib dipisahkan dari analisis, maka hanya arus lurus dan belok kanan saja yang dihitung menjadi nilai q .
2. Jika $L_E = Lk$, nilai q hanya mencakup arus searah.
3. Jika pendekat mempunyai 2 fase, yaitu fase 1 buat arus terlawanan (O) dan fase 2 untuk arus terlindung (P), maka arus resultan kemudian dihitung dengan pembobotan seperti pada persamaan 2.

$$\frac{Rq}{J} = \frac{q}{J}$$

Keterangan :

Rq / J = Rasio arus jenuh

Q = Arus lalu lintas (SMP/jam)

J = Arus jenuh

2.4. Waktu Isyarat APILL

Lampu lalu lintas adalah peralatan yang dioperasikan secara mekanis atau elektrik untuk memerintahkan kendaraan agar berhenti atau berjalan yang terpasang di persimpangan jalan, dan tempat penyebrangan pejalan kaki (*zebra cross*). Selain itu pengaturan persimpangan dengan lampu lalu lintas pada persimpangan jalan merupakan upaya untuk memudahkan pergerakan kendaraan pada persimpangan yang berangkat dari masing-masing lengan persimpangan.

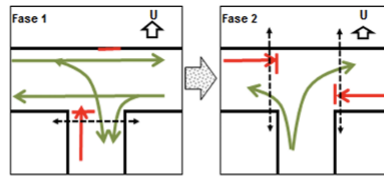
Alat Pemberi Isyarat Lalu Lintas (APILL) merupakan alat yang mengatur arus lalu lintas dengan menggunakan tiga isyarat lampu yang dipakai yaitu merah, kuning, dan hijau. Penggunaan tiga warna tersebut memisahkan lintasan arus lalu lintas yang saling konflik dalam bentuk pemisah waktu berjalan.

- a) Waktu isyarat lampu hijau sebagai izin berjalan bagi kendaraan pada lengan simpang yang berlangsung dalam hitungan detik.
- b) Waktu isyarat lampu kuning dinyalakan setelah hijau dalam sebuah pendekat.
- c) Waktu isyarat lampu merah sebagai larangan berjalan bagi kendaraan pada lengan simpang.

2.4.1. Fase Sinyal

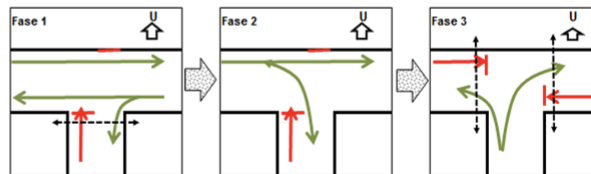
Bagian dari siklus sinyal lalu lintas yang mengatur kombinasi pergerakan tertentu (misalnya arus lurus, belok kanan, atau belok kiri) agar dapat bergerak secara bergantian dengan konflik minimum. Jumlah fase dapat berbeda-beda seperti pada gambar di bawah ini. Konflik primer, yaitu konflik yang terjadi antara arus lalu lintas yang berpotongan.

Pengaturan 2 fase,
dengan hanya memi-
sahkan konflik-konflik
primer



Legenda:
 - - - - - Gerakan pejalan kaki
 ————— Gerakan kendaraan

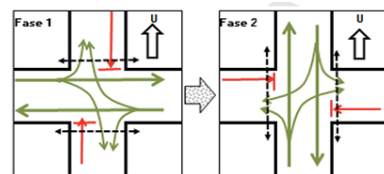
Pengaturan 3 fase,
untuk meningkatkan
kapasitas belok kanan
dari pendekat barat ke
selatan.



Gambar 2.5. Tipikal pengaturan fase APILL pada Simpang 3.

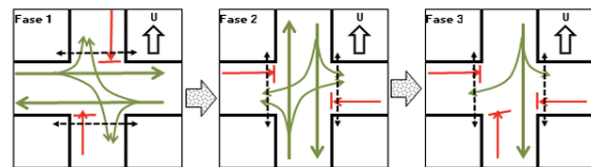
Sumber : PKJI 2023

Pengaturan 2 fase,
hanya memisahkan
konflik-konflik primer

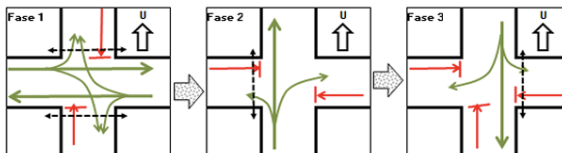


Legenda:
 - - - - - Gerakan pejalan kaki
 ————— Gerakan kendaraan

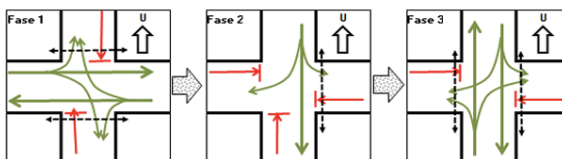
Pengaturan 3 fase, pe-
mutusan hijau lebih awal
pada pendekat selatan
untuk menaikkan kapasi-
tas belok kanan dari pen-
dekat utara (fase 3)



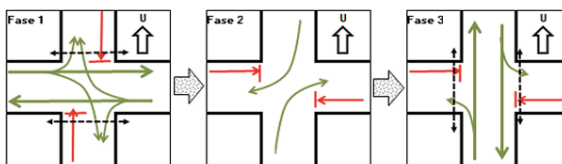
Pengaturan 3 fase;
hijau sendiri-sendiri pada
pendekat selatan dan
utara untuk menaikkan
kapasitas pendekat utara-
selatan (fase 2 & 3)



Pengaturan 3 fase;
memulai hijau lebih awal
pada pendekat utara
untuk menaikkan
kapasitas belok kanan
dari arah utara (fase 2)



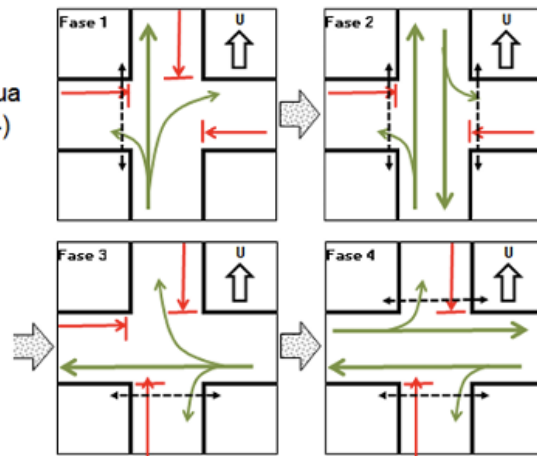
Pengaturan 3 fase;
pemisahan belok kanan
dari utara dan selatan
(Fase 2)



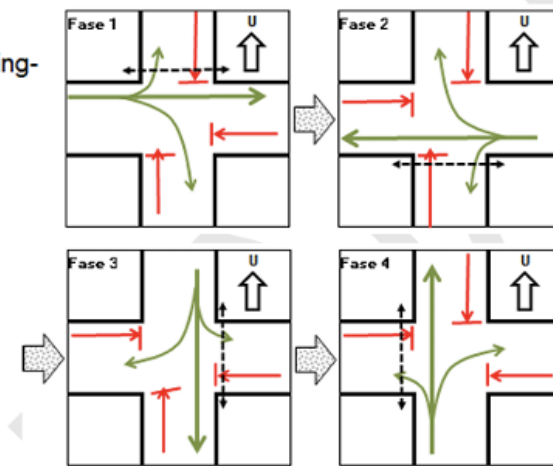
Gambar 2.6. Tipikal Pengaturan APILL pada Simpang 4 dengan 2 Fase
Dan 3 Fase.

Sumber : PKJI 2023

Pengaturan 4 fase,
dengan pemisahan
belok kanan pada kedua
jalannya (Fase 2 dan 4)

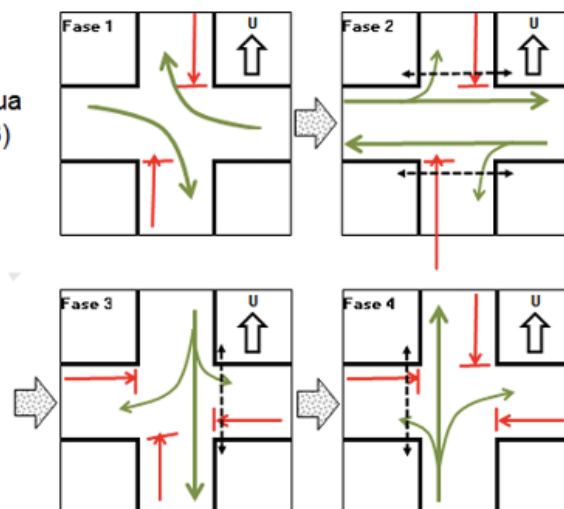


Pengaturan 4 fase,
dengan izin jalan masing-
masing untuk setiap
lengan simpang.



Pengaturan 4 fase,
dengan pemisahan
belok kanan pada kedua
jalannya (Fase 1 dan 3)

Legenda:
 - - - - - Gerakan pejalan kaki
 ————— Gerakan kendaraan



Gambar 2.7. Tipikal Pengaturan APILL Simpang 4 dengan Fase.

Sumber : PKJI 2023

2.4.2. Waktu Hijau Hilang Total (WHH)

Jika periode W_{MS} di akhir tiap fase sudah diketahui, maka total waktu hijau yang hilang (W_{HH}) dalam satu siklus sinyal dihitung sebagai penjumlahan waktu antar hijau.

$$W_{HH} = \sum i (W_{MS} + W_K) i$$

Keterangan :

W_{MS} = Waktu merah semua (detik)

W_K = Waktu kuning (detik)

2.4.3. Waktu Siklus dan Waktu Hijau

Waktu siklus merupakan waktu urutan lengkap dari indikasi sinyal dengan menggunakan satuan detik. Berdasarkan PKJI 2023, tahap pertama penentuan waktu siklus untuk sistem kendali waktu tetap dapat menggunakan rumus *Webster* (1966). Rumus ini bertujuan meminimumkan tundaan total. Nilai waktu siklus tersebut dihitung dengan persamaan:

$$S = \frac{(1,5 \times W_{HH} + 5)}{1 - \sum Rq/J \text{ kritis}} \quad (2.2)$$

Dimana :

S = Waktu siklus (detik)

W_{HH} = Jumlah waktu hijau per siklus (detik)

Rq/J = Nilai rasio arus, yaitu arus dibagi arus jenuh (q/J)

Rq/J_{kritis} = Nilai Rq/J yang tertinggi dari semua pendekat yang berangkat pada fase yang sama

$\sum Rq/J$ = Nilai rasio arus simpang (sama dengan jumlah semua Rq/J kritis dari semua fase) pada siklus tersebut.

Apabila waktu siklus terlalu panjang, maka tundaan rata-rata kendaraan akan meningkat. Kondisi ini biasanya muncul ketika nilai $\sum(Rq/J \text{ kritis})$ mendekati

satu. Jika nilainya melebihi satu, simpang dianggap jenuh, 18 sehingga rumus Webster menghasilkan nilai siklus yang tidak realistis, baik terlalu besar maupun negatif.

Waktu hijau adalah waktu isyarat lampu hijau sebagai izin berjalan bagi kendaraan pada lengan simpang yang ditinjau. Waktu hijau (W_H) dihitung dengan persamaan :

$$W_{Hi} = (s - W_{HH}) \times \frac{R_{q/J \text{ kritis}}}{\sum (R_{q/J \text{ kritis}})_i} \quad (2.3)$$

Dimana :

W_{Hi} = Waktu hijau pada fase i (detik)

i = Indeks untuk fase ke i

2.5. Kinerja Lalu Lintas Simpang APILL

Analisis kinerja lalu lintas pada simpang bersinyal (APILL) diperlukan untuk memahami sejauh mana pengaturan sinyal mampu mengakomodasi volume kendaraan yang melintas. Evaluasi ini memberikan gambaran mengenai tingkat kelancaran arus, potensi hambatan, serta kapasitas simpang dalam melayani pergerakan kendaraan pada setiap pendekat. Hasil penilaian kinerja menjadi dasar penting dalam menentukan kebutuhan perbaikan atau optimalisasi pengaturan sinyal di lokasi studi.

2.5.1. Arus Lalu Lintas dan EMP

Arus lalu lintas jam perencanaan qJP dihitung dengan mengalikan lalu lintas harian rata-rata tahunan (LHRT) dengan faktor jam perencanaan (K).

$$qJP = LHRT \times K$$

Nilai K ditentukan berdasarkan fluktuasi arus lalu lintas jam-jaman selama satu tahun dan umumnya berkisar 7–12% untuk jalan perkotaan. Volume lalu lintas kemudian dinyatakan dalam satuan SMP/jam dengan menggunakan faktor ekivalensi mobil penumpang (EMP), yang nilainya berbeda sesuai jenis

kendaraan serta kondisi pendekat (terlindung atau terlawanan). Nilai EMP untuk tiap jenis kendaraan pada tipe pendekat terlindung dan terlawan ditunjukkan dalam tabel berikut :

Tabel 2.1. Ekuivalen Mobil Penumpang (EMP).

Jenis Kendaraan	EMP untuk Tipe Pendekat Terlindung	EMP untuk Tipe Pendekat Terlawanan
MP	1,00	1,00
KS	1,30	1,30
SM	0,15	0,40

2.5.2. Derajat Kejenuhan

Derajat kejenuhan sebagai faktor utama dalam menentukan tingkat kinerja suatu persimpangan, derajat kejenuhan adalah rasio dari arus lalu lintas terhadap kapasitas untuk suatu pendekat. Nilai D_j yang lebih tinggi dari 0,85 berarti arus lalu lintas pada simpang tersebut mendekati arus jenuhnya yang kemudian menyebabkan antrian panjang pada kondisi lalu lintas puncak. Derajat kejenuhan dapat dihitung dengan persamaan berikut :

$$D_j = q / C \quad (2.4)$$

Keterangan :

D_j = Derajat kejenuhan

C = Kapasitas segmen jalan (SMP/jam)

q = semua arus lalu lintas kendaraan bermotor dari semua lengan simpang yang masuk ke dalam simpang (SMP/jam)

2.5.3. Panjang Antrian

Antrian didefinisikan sebagai jumlah kendaraan yang antri dalam suatu pendekat simpang dan dinyatakan dalam kendaraan. Antrian kendaraan berpengaruh terhadap lancar tidaknya arus lalu lintas yang ada, karena semakin banyak jumlah

kendaraan yang mengantri pada suatu pemdekatan menandakan arus lalu lintas pada pemdekatan tersebut terhambat.

Rata-rata jumlah kendaraan dalam antrian (SMP) pada awal fase hijau (N_q) dihitung sebagai penjumlahan dari kendaraan yang tersisa pada akhir fase hijau sebelumnya (N_{q1}) dengan kendaraan yang datang dan berhenti selama fase merah (N_{q2}). Perhitungan ini dapat menggunakan Persamaan berikut :

$$N_q = N_{q1} + N_{q2} \quad (2.5)$$

- Jika $D_J \leq 0,5$ maka $N_{q1} = 0$;
- Jika $D_J > 0,5$ maka $N_{q1} = 0,25 \times s \times \left(D_J - 1 \right) \sqrt{(D_J - 1)^2 + \frac{8 \times (D_J - 0,5)}{s}}$

Sedangkan jumlah kendaraan yang masuk ke dalam antrian selama fase merah (N_{q2}) dihitung dengan :

$$N_{q2} = s \times \frac{(1-R_H)}{(1-R_H \times D_J)} \times \frac{q}{3600} \quad (2.6)$$

Keterangan :

- N_q = Jumlah rata – rata antrian pada awal sinyal hijau
- N_{q1} = Jumlah kendaraan yang tersisa dari fase hijau sebelumnya
- N_{q2} = Jumlah kendaraan yang datang selama fase merah

Sedangkan Panjang antrian dapat dihitung dengan mengalikan N_q dengan luas area rata – rata yang digunakan oleh satu mobil penumpang (SMP) yaitu 20 m^2 dibagi dengan lebar masuk (m) atau dapat ditulis sebagai berikut :

$$P_A = N_q \times \frac{20}{L_M} \quad (2.7)$$

Keterangan :

- P_A = Panjang antrian (m)
- N_q = Jumlah rata – rata antrian pada awal sinyal hijau
- L_M = Lebar masuk (m)

2.5.4. Rasio Kendaraan Henti

Rasio kendaraan pada pendekat yang harus berhenti akibat isyarat merah sebelum melewati suatu Simpang APILL terhadap jumlah arus pada fase yang sama pada pendekat tersebut, Jika nilai R_{KH} pada satu pendekat atau fase sangat tinggi misalnya karena banyak kendaraan yang datang melebihi waktu hijau atau siklus lampu tidak memadai maka itu bisa menjadi sinyal bahwa persimpangan itu tidak bekerja secara efisien. Dalam kombinasi dengan indikator lain ($DJ > 0,85$, antrian panjang, tundaan tinggi), maka simpang bersinyal dapat dikatakan bermasalah menurut PKJI 2023. Dihitung menggunakan persamaan (2.15)

$$R_{KH} = 0,9 \times \frac{N_q}{q \times s} \times 3600 \quad (2.8)$$

Dimana :

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

S = Waktu siklus (detik)

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

Jumlah rata-rata kendaraan yang berhenti, N_{KH} adalah jumlah henti rata-rata per kendaraan (termasuk berhenti berulang dalam antrian) sebelum melewati suatu simpang APIIL, dihitung dengan persamaan :

$$N_{KH} = q \times R_{KH} \quad (2.9)$$

Keterangan :

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

s = waktu siklus (detik).

q = arus lalu lintas dari pendekat yang ditinjau (SMP/jam).

2.5.5. Tundaan

Tundaan terjadi karena dua hal, yaitu tundaan lalu lintas (T_{LL}) dan tundaan geometri (T_G). T_{LL} adalah tundaan yang disebabkan oleh interaksi antara kendaraan dalam arus lalu lintas. T_G adalah tundaan yang disebabkan oleh

perlambatan dan percepatan yang terganggu saat kendaraan-kendaraan membelok pada suatu simpang dan/atau terhenti. Nilai tundaan mempengaruhi nilai waktu tempuh kendaraan. Semakin tinggi nilai tundaan, semakin tinggi pula waktu tempuhnya. Tundaan lalu lintas rata-rata pada suatu pendekat i dapat ditentukan dari persamaan :

$$T_i = T_{LLi} + T_{Gi} \quad (2.10)$$

Keterangan :

T_i = tundaan rata-rata pada pendekat i

T_{LLi} = tundaan lalu lintas pada pendekat i

T_{Gi} = tundaan geometri pada pendekat i

Tundaan lalu lintas rata-rata pada pendekat i dapat dihitung dengan persamaan berikut :

$$T_{LL} = S \times \frac{0,5 \times (1-RH)^2}{(1-RH \times DJ)} + \frac{Nq1 \times 3600}{C} \quad (2.11)$$

Hasil perhitungan tidak dapat diterapkan apabila nilai C dipengaruhi oleh faktor eksternal, misalnya terhambatnya arus keluar akibat kemacetan di bagian hilir, pengaturan lalu lintas oleh petugas, maupun gangguan lain. Untuk kondisi seperti ini, tundaan geometrik rata-rata pada pendekat iii dapat diperkirakan dengan menggunakan persamaan :

$$T_G = (1 - R_{KH}) \times P_B \times 6 + (R_{KH} \times 4) \quad (2.12)$$

Keterangan :

P_B = porsi kendaraan yang melakukan belokan pada suatu pendekat. Nilai normal tundaan geometrik (T_G) ditetapkan sebesar 6 detik untuk kendaraan yang berbelok tanpa berhenti, dan 4 detik untuk kendaraan yang harus berhenti. Nilai ini diperoleh berdasarkan beberapa asumsi berikut :

- Kecepatan kendaraan lurus adalah 40 km/jam
- Kecepatan kendaraan saat berbelok tanpa berhenti adalah 10 km/jam.
- Nilai percepatan maupun perlambatan kendaraan dianggap sama, yaitu 1,5 m/det².

- Kendaraan yang berhenti diasumsikan mengalami perlambatan, sehingga tundaan yang diperhitungkan hanya berasal dari percepatan kembali.

2.5.6 Tingkat Pelayanan (LoS)

Tingkat pelayanan atau *Level of Service* (LoS) adalah indikator yang digunakan untuk menilai mutu kinerja lalu lintas pada jalan maupun simpang. PKJI 2023 mengklasifikasikan LoS ke dalam enam kategori, mulai dari A hingga F, yang menunjukkan kondisi arus lalu lintas dari sangat lancar hingga macet. Penilaian LoS umumnya didasarkan pada parameter seperti derajat kejenuhan (D_j), rata-rata tundaan per kendaraan, panjang antrian, dan perbandingan volume terhadap kapasitas (v/c).

Penilaian LoS umumnya didasarkan pada parameter seperti derajat kejenuhan (D_j), rata-rata tundaan per kendaraan (Indonesia, 2015).

Tabel 2.2. Tingkat Pelayanan Lalu Lintas

Tingkat Pelayanan	Derajat Kejenuhan	Tundaan (Det/Kend)	Keterangan
A	0,35	≤ 5	Arus Bebas
B	0,54	5 – 15	Arus Stabil
C	0,77	15,1 – 25	Masih batas stabil
D	0,93	25,1 – 40	Mendekati Tidak stabil
E	1,00	40,1 – 60	Arus Tidak Stabil
F	> 1,00	> 60	Arus Tertahan

Sumber : PM No. 96 Tahun, 2015.

2.6. Perhitungan Pertumbuhan Penduduk dan Kendaraan dalam 5 Tahun Mendatang.

Perhitungan dilakukan dengan Ms. Excel untuk mendapat nilai pertumbuhan jumlah penduduk dan jumlah kendaraan dalam 5 tahun mendatang berdasarkan data yang diambil dari Badan Pusat Statistik (BPS). Nilai yang nantinya akan digunakan berupa jumlah

penduduk dan kendaraan dalam 5 tahun ke depan beserta rasio pertumbuhannya. Jumlah penduduk digunakan untuk menentukan faktor koreksi pada kapasitas simpang. Untuk rasio pertumbuhan kendaraan akan digunakan untuk memperkirakan volume kendaraan dalam 5 tahun mendatang.

Berikut merupakan rumus pertumbuhan yang digunakan pada penelitian ini terdapat pada persamaan :

$$P_1 = P_0(1 + r)^t \quad (2.13)$$

atau

$$r = \left(\frac{P_1}{P_0}\right)^{1/t} - 1 \quad (2.14)$$

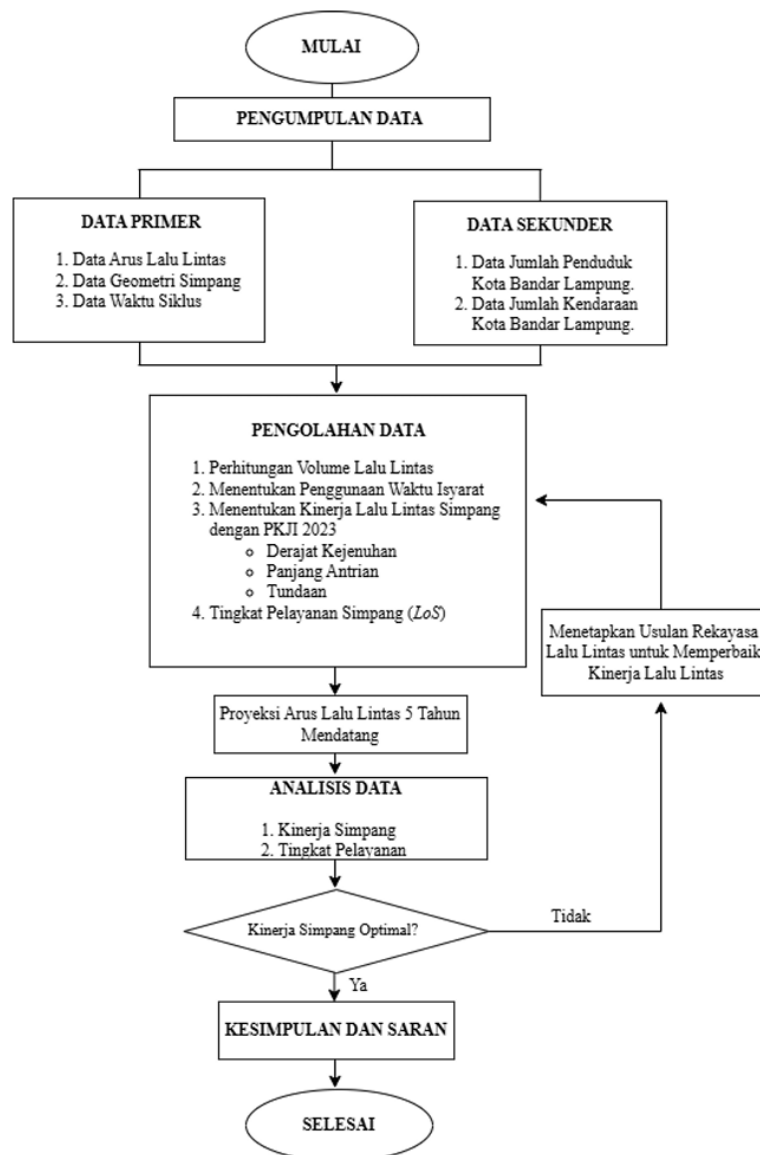
Keterangan :

- P_1 = Jumlah kendaraan pada tahun t
- P_0 = Jumlah kendaraan pada tahun dasar
- t = Jangka waktu
- r = Laju pertumbuhan kendaraan

III. METODOLOGI PENELITIAN

3.1. Diagram Alir Penelitian

Penelitian ini dilakukan dengan tahapan yang digambarkan dalam bentuk diagram alir atau *flowchart* yang diharapkan dapat mencapai tujuan yang diinginkan.



Gambar 3.1. Bagan Alir Penelitian.

3.2. Survei Pendahuluan

Berdasarkan PKJI 2023, perbaikan geometri jalan pada simpang bersinyal bertujuan untuk meningkatkan kapasitas pendekat dan menurunkan tundaan kendaraan. Salah satu solusi yang umum dilakukan adalah pelebaran lajur pendekat sebesar 2 meter, yang dapat meningkatkan faktor koreksi lebar lajur hingga 1,15, sehingga kapasitas simpang naik sekitar 15–20%. Hasil penelitian Ikram & Sudibyo (2025) menunjukkan bahwa pelebaran jalan di simpang Babakan Raya–Dramaga menurunkan derajat kejenuhan dari 0,94 menjadi 0,79 dan mempercepat pelepasan kendaraan hingga 12% (Ikram & Sudibyo, 2025). Selain pelebaran lajur, pembuatan pulau lalu lintas juga direkomendasikan untuk memisahkan arus belok kiri dari arus lurus. Jika lebar lajur belok kiri ($LBK_{i/T}$) ≥ 2 meter, kendaraan belok kiri dapat berjalan tanpa menunggu sinyal utama, sehingga mengurangi tundaan rata-rata hingga 25%.

Penelitian Damayanti (2025) juga mendukung temuan ini dengan hasil bahwa modifikasi geometri melalui pelebaran pendekat dan penambahan pulau pemisah mampu meningkatkan kapasitas dari 3050 menjadi 3720 SMP/jam serta menurunkan tundaan rata-rata sebesar 27% (Damayanti, 2025). Dengan demikian, baik pelebaran lajur maupun pembuatan pulau lalu lintas terbukti efektif dalam meningkatkan kinerja simpang bersinyal sesuai ketentuan PKJI 2023 dan penelitian empiris terbaru (Setiawan & Arifin, 2025).

3.2.1. Lokasi Survei

Penentuan lokasi survei dilakukan berdasarkan tingkat kepadatan arus lalu lintas dan karakteristik geometrik jalan yang berpotensi menimbulkan tundaan tinggi pada simpang bersinyal. Lokasi Jalan Dr. Rivai – Jalan Teuku Umar, Kota Bandar Lampung dipilih karena merupakan simpang utama dengan volume kendaraan yang tinggi serta terdapat variasi bentuk pendekat dan jumlah lajur.



Gambar 3.2. Lokasi Penelitian di Jl. Dr Rivai – Jl. Teuku Umar.

(Sumber : Google Earth)

3.2.2. Penentuan Titik Penelitian

Titik pengamatan ditentukan pada setiap pendekat simpang (*approach*) yang memiliki kombinasi arus lurus, belok kiri, dan belok kanan. Pengamatan dapat dilakukan sesuai panjang antrian yang terjadi pada saat volume lalu lintas dalam keadaan puncak atau dapat dilakukan pada jarak ± 50 meter dari garis henti untuk memastikan semua manuver kendaraan tercatat secara akurat. Hal ini sejalan dengan pedoman PKJI 2023 Bab 5, yang merekomendasikan bahwa survei geometri harus memperhatikan jarak pengamatan yang cukup untuk menangkap perilaku antrian dan pergerakan kendaraan secara menyeluruh, pembagian titik pengamatan berdasarkan arah pendekat sangat membantu dalam memisahkan analisis kapasitas tiap lajur secara lebih detail.

3.2.3. Penentuan jam puncak

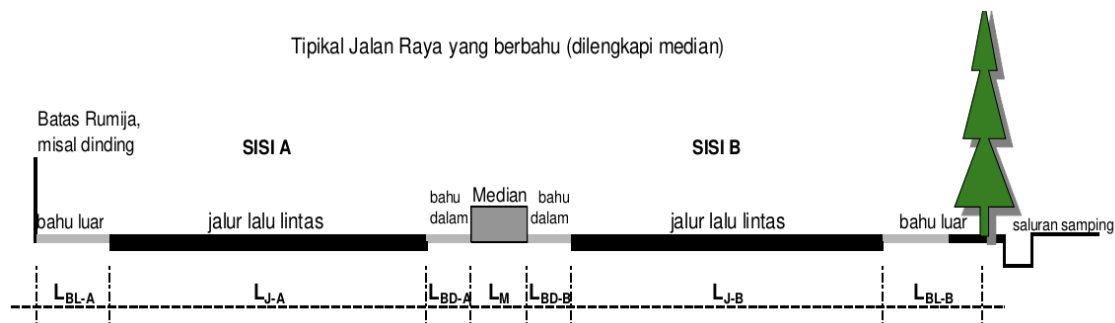
Penentuan jam puncak pada pukul 06.30–08.30 dan 16.30–18.00 dalam penelitian lalu lintas di Indonesia umumnya didasarkan pada Pedoman Kapasitas Jalan Indonesia (2023) serta konsep PHF menurut Tarko dan Pérez (2003) dan standar HCM (2010). Rentang waktu tersebut diperoleh melalui analisis volume kendaraan dan observasi lapangan yang menunjukkan puncak arus kendaraan pada pagi dan sore hari, sebagaimana juga ditemukan dalam studi di Surabaya dan Tangerang Selatan (Fatikasari et al., 2024; Oktobrianto et al., 2023).

Selain itu, penentuan jam puncak (*peak hour*) dilakukan dengan metode volume tabulasi per 30 menit selama 2 jam pengamatan untuk mengidentifikasi waktu dengan volume kendaraan tertinggi. Pengumpulan data dilakukan pada pukul 06.30–08.30, dan 16.00–18.00, seiring dengan aktivitas masyarakat seperti berangkat kerja, dan pulang kantor. Dengan mengacu pada pola tersebut, penelitian ini menentukan dua periode survei agar representatif terhadap kondisi lalu lintas harian.

3.3. Pengumpulan Data

3.3.1. Data Primer

1. Data geometri diperoleh dari hasil pengamatan di lapangan dengan cara mengukur dan mencatat data yang dibutuhkan dalam penelitian. Data primer yang diperlukan dalam penelitian ini merupakan data geometrik persimpangan yang diperoleh secara langsung.



Gambar 3.3. Potongan Melintang Jalan.

(Sumber : Pedoman Kapasitas Jalan Indonesia 2023)

2. Data arus lalu lintas

Survei arus lalu lintas ini dilakukan pada setiap jenis kendaraan (*traffic counting*). Survei ini dilaksanakan pada setiap STA yang telah ditentukan, setiap kendaraan yang melewati STA tersebut akan dicatat sesuai dengan jenis kendaraannya. Tujuan survei ini untuk mengetahui kepadatan arus lalu lintas perjam serta komposisi kendaraan. Dalam melaksanakan survey ini, kendaraan yang melewati titik pengamatan dibedakan dalam 3 jenis, yaitu sepeda motor, mobil penumpang dan kendaraan sedang. Dalam pengumpulan data arus lalu lintas ini meliputi data volume lalu lintas, kecepatan, kerapatan, dan kapastitas.

- Volume lalu lintas, survei lalu lintas ini dimaksudkan untuk mengetahui jumlah arus lalu lintas dan populasi kendaraan yang bergerak pada lokasi penelitian. Survei ini dilakukan dengan menghitung komposisi kendaraan yang melalui ruas Jalan Dr. Rivai – Jalan Teuku Umar, Kota Bandar Lampung.
- Kecepatan, survei kecepatan ini dilakukan untuk mengidentifikasi kecepatan lalu lintas setempat. Survei ini dilakukan dengan cara memperhatikan rekaman video yang sudah diambil dari survei yang sudah ditentukan lokasi dan jarak pengamatannya.
- Kerapatan, data kerapatan didapatkan dari hasil perbandingan dari arus lalu lintas dengan kecepatan.

- Kapasitas, survei kapasitas dilakukan untuk menganalisis kemampuan ruas jalan dalam menampung arus lalu lintas yang bertujuan untuk mengevaluasi kinerja jalan. Survei ini melibatkan volume lalu lintas, kecepatan dan kepadatan, yang kemudian digunakan untuk menghitung kapasitas jalan dan derajat kejenuhan
- Derajat kejenuhan, survei derajat kejenuhan merupakan rasio antara arus lalu lintas dengan kapasitas jalan. Tujuan dari survei ini adalah untuk mengevaluasi tingkat kinerja suatu ruas jalan. Nilai derajat kejenuhan ini menunjukkan apakah ruas jalan ini memiliki masalah kapasitas atau tidak.

3. Data Survei Waktu Siklus

Pengambilan data survei lapangan untuk analisis kinerja simpang bersinyal dilakukan dengan mencatat kondisi lalu lintas secara langsung di lokasi penelitian, terutama pada jam sibuk agar mewakili kondisi puncak. Survei waktu sinyal dilakukan dengan stopwatch atau video recording untuk mencatat lama waktu hijau, kuning, dan merah pada setiap fase pada lengan persimpangan. Waktu siklus didapat dari mencatat waktu fase dari saat menyala, berhenti hingga saat menyala kembali.

3.3.3. Data Sekunder

Data sekunder merupakan data yang didapatkan secara tidak langsung yang kemudian dikumpulkan melalui instansi atau pihak terkait, yaitu diantaranya :

- Jumlah penduduk Kota Bandar Lampung, didapat dari Badan Pusat Statistik (BPS) Kota Bandar Lampung.
- Data volume lalu lintas, meliputi data jumlah kendaraan (kendaraan ringan, kendaraan berat, dan sepeda motor) yang melewati pendekat dengan gerakan lurus, belok kiri, serta belok kanan.
- Data durasi sinyal, meliputi data lamanya waktu menyala tiap fase, data lamanya waktu semua fase dari saat menyala, berhenti, sampai menyala Kembali, serta data waktu hilang (penjumlahan fase merah dan fase kuning).

3.4. Pengolahan Data

Berdasarkan data yang telah dikumpulkan maka selanjutnya adalah perhitungan atau pengolahan data tersebut. Data yang diperoleh dari pengamatan lapangan akan diolah untuk mendapatkan hasil penelitian mengenai kinerja simpang pada kondisi eksisting. Pengolahan data dilakukan berdasarkan perhitungan (PKJI 2023). Perhitungan data dalam penelitian ini meliputi :

3.4.1. Menghitung volume lalu lintas

Volume arus lalu lintas diperoleh dari hasil survei lapangan mengenai jumlah kendaraan. Data kendaraan yang melewati simpang dicatat setiap 30 menit, kemudian diklasifikasikan berdasarkan jenis kendaraan dan arah pergerakan. Selanjutnya data diolah untuk memperoleh volume total lalu lintas.

Berdasarkan data yang sudah didapatkan maka perhitungan volume lalu lintas dapat menggunakan persamaan berikut :

$$Q = n / t$$

Dengan :

Q = Arus lalu lintas atau volume kendaraan (SMP/jam)

n = Jumlah kendaraan yang melintas (SMP)

t = Waktu pengamatan (jam)

3.4.1. Menghitung Waktu Isyarat pada Simpang

Tahapan ini meliputi beberapa langkah penting untuk mengetahui bagaimana sinyal lalu lintas bekerja pada kondisi eksisting.

a. Menentukan fase sinyal eksisting

Proses ini dilakukan dengan mengidentifikasi urutan pemberian hak jalan pada setiap pendekat simpang. Setiap fase menunjukkan kelompok pergerakan yang dapat melintas secara bersamaan tanpa konflik, misalnya

fase untuk pendekat Utara–Selatan atau fase untuk Timur–Barat. Penetapan fase dilakukan dengan melihat kondisi aktual di lapangan, termasuk pola pergerakan kendaraan, kebutuhan pemisahan konflik, serta pengaturan lampu yang sudah diterapkan sebelumnya. Hasil identifikasi ini menjadi dasar untuk melakukan evaluasi apakah fase eksisting sudah sesuai dengan karakteristik lalu lintas di simpang tersebut.

b. Menentukan waktu siklus eksisting

Langkah ini bertujuan memperoleh lama satu putaran penuh pengoperasian sinyal yang berlaku pada simpang. Waktu siklus dihitung berdasarkan total durasi lampu hijau, kuning, dan merah untuk seluruh fase yang bekerja dalam satu siklus. Pengukuran dilakukan melalui observasi langsung, pencatatan timer sinyal. Nilai waktu siklus eksisting diperlukan untuk mengetahui efisiensi pengaturan sinyal yang saat ini digunakan serta menjadi acuan dalam analisis apakah perlu dilakukan optimasi untuk meningkatkan kinerja simpang.

Waktu siklus dihitung dari data sekunder dengan persamaan :

$$S = \frac{(1,5 \times W_{HH} + 5)}{1 - \sum R_{q/J \text{ kritis}}}$$

Dimana :

S = Waktu siklus (detik)

WHh = Jumlah waktu hijau per siklus (detik)

Rq/J = Nilai rasio arus, yaitu arus dibagi arus jenuh (q/J)

Rq/J_{kritis} = Nilai Rq/J yang tertinggi dari semua pendekat yang berangkat pada fase yang sama

Σrq/J = Nilai rasio arus simpang (sama dengan jumlah semua Rq/J kritis dari semua fase) pada siklus tersebut

3.4.2. Menghitung Kinerja pada Simpang

Untuk menghitung kinerja lalu lintas terdiri dari perhitungan derajat kejenuhan (D_j), panjang antrian (P_A), dan tundaan setiap kendaraan (T).

- Derajat kejenuhan dihitung untuk menentukan jumlah antrian dan dapat dihitung dengan persamaan :

$$D_j = Q / C$$

Dimana :

D_j = Derajat kejenuhan

Q = Arus lalu lintas (SMP/jam)

C = Kapasitas pendekat

- Untuk panjang antrian (P_A), dihitung menggunakan rumus berikut:

$$P_A = N_q \times \frac{20}{L_M}$$

Dimana :

P_A = Panjang antrian (m)

N_q = Jumlah rata – rata antrian pada awal sinyal hijau

L_M = Lebar masuk (m)

- Tundaan lalu lintas rata-rata pada pendekat i dapat dihitung dengan persamaan berikut :

$$T_{LL} = S \times \frac{0,5 \times (1-RH)^2}{(1-RH \times DJ)} + \frac{Nq1 \times 3600}{C}$$

3.5. Proyeksi Arus Lalu Lintas 5 Tahun Mendatang

Dalam proyeksi ini, variabel yang dianalisis meliputi jumlah penduduk dan jumlah kendaraan selama 5 tahun terakhir untuk memperoleh perkiraan hingga 5 tahun ke depan. Proyeksi jumlah penduduk digunakan untuk menentukan faktor koreksi ukuran kota, yang nantinya berpengaruh pada perhitungan arus jenuh di persimpangan. Sementara itu, proyeksi volume kendaraan bertujuan untuk memperkirakan volume arus lalu lintas dalam kurun waktu 5 tahun mendatang.

3.6. Analisis Data

Pada tahap analisis data ini dianalisis berdasarkan hasil perhitungan pada parameter utama yaitu nilai lebar efektif pendekat, kapasitas simpang, dan panjang antrian yang diperoleh digunakan untuk memperkirakan kelancaran arus lalu lintas pada simpang bersinyal. Volume lalu lintas yang melebihi kapasitas simpang dan antrian kendaraan yang panjang maka menandakan ketidaklancaran arus lalu lintas pada pendekat tersebut. Apabila hasil analisis tersebut menunjukkan diharuskan adanya perubahan desain persimpangan bertujuan untuk meningkatkan kapasitas pendekat dan menurunkan tundaan kendaraan. Dengan demikian, maka hasil analisis tidak hanya menggambarkan kondisi eksisting tetapi memberikan solusi perbaikan yang dapat mendukung kelancaran lalu lintas.

Berikut merupakan tahapan analisis yang dilakukan :

3.6.1. Analisis Kinerja Simpang Bersinyal

Pada kondisi eksisting, kinerja simpang bersinyal dianalisis menggunakan metode PKJI 2023. Analisis ini bertujuan untuk mengetahui seberapa baik kinerja dan tingkat pelayanan (LoS) simpang berdasarkan data volume lalu lintas aktual, waktu siklus sinyal, dan kondisi geometri jalan. Nilai derajat kejenuhan (DS) dihitung dengan membandingkan antara volume lalu lintas dan kapasitas simpang.

- Derajat Jenuh (D_f): Merupakan perbandingan antara volume lalu lintas aktual dengan kapasitas simpang, yang menggambarkan tingkat tekanan lalu lintas pada simpang tersebut.
- Panjang Antrian (P_A): Menggambarkan jarak fisik rata-rata kendaraan yang mengantri pada simpang selama periode tertentu, sebagai indikator kemacetan.
- Tundaan (T_i): Waktu penundaan rata-rata yang dialami oleh tiap kendaraan saat melewati simpang, baik akibat antrian maupun pengaturan sinyal.

3.6.2. Tingkat Pelayanan Simpang

Pada kondisi ini, kinerja simpang bersinyal dianalisis menggunakan metode PKJI 2023. Analisis ini bertujuan untuk mengetahui seberapa baik kinerja dan tingkat pelayanan (LoS) pada 5 tahun mendatang. Berdasarkan hasil analisis kinerja simpang yang meliputi kapasitas, derajat jenuh, panjang antrian, dan waktu tundaan, tahap selanjutnya adalah menentukan tingkat pelayanan (*Level of Service/LoS*) simpang. Tingkat pelayanan ini merefleksikan kualitas operasional simpang dalam melayani lalu lintas, yang biasanya dikategorikan dalam beberapa tingkat mulai dari A (pelayanan sangat baik) hingga F (pelayanan sangat buruk atau mengalami kemacetan parah). Penetapan tingkat pelayanan untuk lima tahun ke depan penting untuk mengetahui apakah kondisi simpang masih cukup baik dalam menghadapi peningkatan volume lalu lintas atau perlu dilakukan perbaikan dan penyesuaian desain serta pengaturan lalu lintas.

3.7. Menetapkan Usulan Rekayasa Lalu Lintas

Usulan rekayasa lalu lintas dilakukan apabila hasil analisis kinerja simpang dan tingkat pelayanan untuk proyeksi 5 tahun mendatang menunjukkan nilai derajat kejenuhan yang melebihi batas yang ditetapkan dalam Pedoman Kapasitas Jalan Indonesia (PKJI) 2023. Kondisi tersebut menandakan bahwa kapasitas simpang tidak memadai untuk menampung volume lalu lintas yang ada atau yang diperkirakan, sehingga diperlukan langkah rekayasa guna meningkatkan kinerja simpang dan mengoptimalkan pelayanan lalu lintas.

Berdasarkan penelitian-penelitian terdahulu yang menggunakan acuan Pedoman Kapasitas Jalan Indonesia (PKJI) 2023, permasalahan volume lalu lintas yang melebihi kapasitas simpang serta panjangnya antrian kendaraan dapat diatasi melalui kombinasi pendekatan geometrik, sinyal, dan manajemen lalu lintas.

Beberapa solusi rekayasa yang sering diusulkan berdasarkan penelitian terdahulu meliputi optimasi waktu siklus sinyal, pelebaran badan jalan, perubahan fase sinyal, dan peningkatan fasilitas penunjang lain.

Penelitian oleh Sulaiman et al. (2025) di simpang TB Simatupang–Condet Raya, Jakarta Timur, menemukan bahwa optimasi fase sinyal dan redistribusi waktu hijau antar pendekat dapat meningkatkan kapasitas total simpang sebesar 20%. Sementara itu, Putriningtiazti et al. (2024) membandingkan kinerja simpang bersinyal antara metode MKJI 1997 dan PKJI 2023, dan menemukan bahwa PKJI menghasilkan estimasi kapasitas yang lebih realistis untuk lalu lintas campuran perkotaan modern.

Berdasarkan PKJI 2023, perbaikan geometri jalan pada simpang bersinyal bertujuan untuk meningkatkan kapasitas pendekat dan menurunkan tundaan kendaraan. Salah satu solusi yang umum dilakukan adalah pelebaran lajur pendekat sebesar 2 meter, yang dapat meningkatkan faktor koreksi lebar lajur (F_{CLJ}) hingga 1,15, sehingga kapasitas simpang naik sekitar 15–20%. Hasil penelitian Ikram & Sudibyo (2025) menunjukkan bahwa pelebaran jalan di simpang Babakan Raya–Dramaga menurunkan derajat kejenuhan dari 0,94 menjadi 0,79 dan mempercepat pelepasan kendaraan hingga 12%.

Selain pelebaran lajur, pembuatan pulau lalu lintas juga direkomendasikan untuk memisahkan arus belok kiri dari arus lurus. Jika lebar lajur belok kiri (L_{BKlJT}) ≥ 2 meter, kendaraan belok kiri dapat berjalan tanpa menunggu sinyal utama, sehingga mengurangi tundaan rata-rata hingga 25%. Studi Zulkarnaen et al. (2024) di Pontianak membuktikan bahwa pembuatan pulau belok kiri menurunkan Panjang.

Dengan mengacu pada penelitian – penelitian tersebut, analisis dalam penelitian ini tidak hanya menilai kondisi eksisting, tetapi memberikan perubahan desain pendekat simpang yang baru, lalu kemudian dapat dibandingkan perubahan kapasitas simpang dan panjang antrian antara desain dan kondisi terhadap volume lalu lintasnya.

Setelah seluruh data yang dibutuhkan terkumpul, tahap selanjutnya adalah pengolahan dan analisis data guna memperoleh hasil yang dapat menggambarkan kinerja simpang

bersinyal. Analisis dilakukan dengan mengacu pada Pedoman Kapasitas Jalan Indonesia (PKJI) 2023, yang digunakan sebagai dasar penilaian kapasitas, derajat kejenuhan, dan tingkat pelayanan simpang.

Faktor-faktor yang diperhitungkan dalam analisis ini antara lain:

- a. Kondisi lapangan, meliputi hasil survei jumlah fase sinyal, waktu siklus, kondisi geometrik jalan, serta karakteristik lingkungan sekitar simpang.
- b. Arus lalu lintas, yang diperoleh dari hasil survei volume kendaraan pada setiap pendekat simpang untuk menentukan komposisi kendaraan ringan, berat, dan sepeda motor.
- c. Kapasitas dan derajat kejenuhan, dihitung dengan mempertimbangkan jenis perlindungan gerakan (terlindung atau tidak), lebar lajur efektif (L_E), nilai arus jenuh dasar (J_0), serta faktor-faktor penyesuaian seperti rasio arus (RQ/J_0), rasio hijau (R_h), dan waktu hijau (H) sesuai rumus dalam PKJI 2023.
- d. Kinerja lalu lintas, yang dievaluasi berdasarkan parameter jumlah kendaraan yang mengantri (N_a), panjang antrian (P_a), rasio kendaraan henti (R_{kh}), jumlah kendaraan berhenti (N_{kh}), serta tundaan rata-rata pendekat (T_i) dan tundaan rata-rata simpang (T_t).

V. PENUTUP

5.1. Kesimpulan

Kesimpulan yang diperoleh dari hasil pengolahan data dan analisis yang dilakukan yang diperoleh untuk menjawab rumusan masalah adalah sebagai berikut :

1. Kinerja simpang bersinyal eksisting di Lokasi penelitian. Hasil perhitungan kinerja simpang eksisting berdasarkan PKJI 2023 menunjukkan bahwa kondisi operasi simpang berada pada tingkat pelayanan yang kurang baik, terutama pada pendekat S dengan Derajat kejenuhan (D_j) pada masing-masing pendekat adalah: B 0,69(C), U 0,78 (D), dan S 1,3 (F) dan jumlah kendaraan 4.470 kend/jam.
2. Hasil proyeksi kinerja simpang untuk periode 5 tahun mendatang berdasarkan PKJI 2023 menunjukkan kondisi operasi simpang mengalami penurunan kualitas layanan yang cukup signifikan apabila tidak dilakukan penanganan. Dengan Derajat kejenuhan (D_j) pada masing-masing pendekat adalah: B 0,71(C), U 0,8 (D), dan S 1,4 (F).
3. Usulan Rekayasa Lalu Lintas
 - a. Optimasi Waktu Siklus Sinyal

Usulan berupa optimasi waktu siklus dengan menata pembagian waktu pada setiap pendekat agar sesuai kebutuhan arus lalu lintas saat ini dan proyeksi 5 tahun mendatang. Pembagian waktu siklus yang diusulkan adalah menjadi 150 detik, pada masing – masing pendekat yaitu : pendekat B memiliki (D_j) 0,69, dengan LoS C, sedangkan pendekat U memiliki (D_j) 0,77, dengan LoS C, serta pendekat S dengan (D_j) 0,85, sehingga berada pada LoS D pada kondisi mendatang.

b. Perubahan Desain Geometrik Jalan serta Mengatur Ulang Waktu Siklus Sinyal

- Penambahan lebar lajur pada pendekat Selatan (Tanjung Karang-Rajabasa), yang memiliki volume arus tertinggi, dilakukan penambahan menjadi 10,5 meter dengan 3 lajur sebesar 3,5 m, mengubah L_{BKIJT} menjadi 3,5 m dan L_M menjadi 7 m.
- Penambahan lebar lajur pada pendekat Utara (Rajabasa-Tanjung Karang), dilakukan penambahan lebar lajur menjadi 10,5 m, dengan 3 lajur masing-masing selebar 3,5 m
- Penambahan lebar lajur pada pendekat Barat (Jalan. Dr. Rivai), dilakukan penambahan lebar lajur sebelumnya 2 lajur menjadi 3 lajur yaitu 11 m dengan masing masing lajur 3,5 m untuk L_{BKIJT} pada fase merah, dan 4 m dua lajur untuk Lebar Keluar.

5.2. Saran

Dari kesimpulan di atas saran yang dapat diberikan setelah melakukan survei penelitian pada simpang Jalan Dr. Rivai – Jalan Teuku Umar menggunakan metode PKJI 2023 dan perkiraan penduduk 5 tahun kedepan serta melakukan skenario usulan rekayasa arus lalu lintas disarankan:

1. Pada jam sibuk seperti pagi dan sore hari, diperlukan peran pemerintah daerah Dinas Perhubungan Kota Bandar Lampung menerapkan sistem pengendalian sinyal yang mampu menyesuaikan waktu hijau secara dinamis terhadap perubahan volume lalu lintas di setiap pendekat.
2. Perlu dilakukan penambahan atau pelebaran lajur pada pendekat Selatan, & penataan ulang fungsi lajur (*channelization*) agar pergerakan belok kanan, lurus, dan kiri dapat dipisahkan secara efektif.
3. Integrasi Rekayasa Simpang dengan Perencanaan Tata Ruang dan Pertumbuhan Penduduk, Mengingat proyeksi pertumbuhan penduduk dan kendaraan di kawasan Jalan Dr. Rivai – Teuku Umar cenderung meningkat, maka perlu adanya sinkronisasi antara kebijakan transportasi dan tata ruang kota.

DAFTAR PUSTAKA

- Asan Beni Tokan, M. M., Pua Ngajo, Z., Arjuna Temaluru, A., Sutrisno, W., & Sekar Langit Wahyu Gutama, D. (2023). Traffic Performance Analysis – Emp And Saturation Degrees Using Pkji 2023. *Winter Journal: Imwi Student Research Journal*, 4(1), 70–82. <https://doi.org/10.52851/wt.v4i1.53>
- Marga, D. J. B. (2014). *Pedoman Kapasitas Jalan Indonesia (PKJI)*. Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat.
- Purba, A., Kustiani, I., & Pramita, G. (2019). A Study on the Influences of Exclusive Stopping Space on Saturation Flow (Case Study: Bandar Lampung). *SSRN Electronic Journal*, 52, 29–30. <https://doi.org/10.2139/ssrn.3487327>
- Putra, S., Widiyawati, R., & Despa, D. (2022). Kajian Optimalisasi Lampu Lalu Lintas (Traffic Light) Terhadap Kelancaran Simpang Jalan Pagar Alam- Jalan Panglima Polim Dan Sukardi Hamdani Bandar Lampung. *Seminar Nasional Insinyur Profesional (SNIP)*, 2(2). <https://doi.org/10.23960/snip.v2i2.302>.
- Widodo, A., & Basith, M. A. (2017). Analisis Kuat Tekan Beton Dengan Penambahan Serat Rooving Pada Beton Non Pasir. *Jurnal Teknik Sipil Dan Perencanaan*, 19(2), 115–120. <https://doi.org/10.15294/jtsp.v19i2.12138>.
- DetikSumbagsel. (2025, 12 Juli). *Lakalantas Beruntun di Bandar Lampung Sebabkan Macet*. detik.com/sumbagsel. Retrieved from <https://www.detik.com/sumbagsel/berita/d-8008555/lakalantas-beruntun-di-bandar-lampung-sebabkan-macet-panjang>.
- Radar Lampung (Disway). (2024, 10 Oktober). *Atasi Kemacetan, Jalur Lalu Lintas Simpang MBK Bandar Lampung Akan Diubah*. radarlampung.disway.id. Retrieved from <https://radarlampung.disway.id/read/701533/atasi-kemacetan-jalur-lalu-lintas-simpang-mbk-bandar-lampung-akan-diuba>.
- Tribrataneews Polda Lampung. (2024, 10 Oktober). Upayakan Solusi atasi Kemacetan di Bandarlampung, Beri tambahan traffic light. *tribrataneews.lampung.polri.go.id*. Retrieved from <https://tribrataneews.lampung.polri.go.id/detail-post/upayakan-solusi-atasi-kemacetan-di-bandar-lampung-beri-tambahan-traffic-light>.

- Maulana, A., Sarjana, S., & Prastya, T. R. (2024). *Traffic Performance Analysis in The Traditional Market Area*. E3S Conferences.
- Sulaiman, F. A., Aryapijati, R. H., & Isradi, M. (2025). *Analysis of Signalized Intersection Performance and Road Performance on TB Simatupang–Condet Raya Road, East Jakarta Using PKJI 2023*. IJSES Journal.
- Pratama & Widodo, (2024). *Optimization of Road Section and Signalized Intersection Performance Using PKJI 2023 at Dewi Sartika–Raya Kalibata Intersection*. ResearchGate.
- Putriningtiazti, Rahman, F. (2024). Evaluasi Peningkatan Kinerja Kapasitas Simpang di Jalan Sukabumi-Cisaat Menggunakan PKJI 2023. *Jurnal Teknik Sipil Dan Manajemen*, 3(2), 120–135. <https://doi.org/10.33096/jtsm.v3i2.280>.
- Zulkarnaen, Prayitno, E. (2024). Kinerja simpang bersinyal pada jam puncak. *Jurnal REKAYASA*, 10(1), 123–137. <https://jurnalrekayasa.bunghatta.ac.id/index.php/JRFTSP/article/view/54>
- Webster, F. V. (1958). Traffic Signal Settings. In *Road Research Technical Paper No. 39*. Her Majesty's Stationery Office (HMSO).