

**ANALISIS SISTEM ANTRIAN LALU LINTAS PADA SIMPANG
BERSINYAL LENGAN EMPAT
(STUDI KASUS: JL. URIP SUMOHARJO – JL. SOEKARNO HATTA – JL.
ENDRO SURATMIN)**

(Skripsi)

Oleh

**ILHAM MUHAMMAD BINTANG
NPM 2115011127**



**FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG
2026**

ABSTRAK

ANALISIS SISTEM ANTRIAN LALU LINTAS PADA SIMPANG BERSINYAL LENGAN EMPAT

Oleh

ILHAM MUHAMMAD BINTANG

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis kinerja sistem antrian pada simpang bersinyal Jalan Urip Sumaharjo – Jalan Soekarno Hatta – Jalan Endro Suratmin di Kota Bandar Lampung, yang dikenal memiliki volume kendaraan tinggi dan kemacetan pada jam sibuk. Pengumpulan data dilakukan melalui survei primer pada pukul 06.30–08.00 dan 16.00–17.30, meliputi volume kendaraan, waktu siklus sinyal, serta panjang antrian. Analisis menggunakan model antrian M/M/1 digunakan untuk menentukan parameter kinerja seperti tingkat kedatangan, tingkat pelayanan, rata-rata panjang antrian, serta waktu tunggu kendaraan. Hasil menunjukkan bahwa volume kendaraan tertinggi mencapai 10.523 kend/jam pada pagi hari dan 10.569 kend/jam pada sore hari, dengan antrian terpanjang terjadi pada Lengan Utara di pagi hari (tundaan 47,02 detik) dan Lengan Selatan di sore hari (49,96 detik). Rata-rata waktu tunggu kendaraan dalam sistem adalah 18,14 detik, sementara kapasitas antrian berada pada rentang 51–67 kendaraan, menandakan kondisi masih terkendali meskipun mendekati batas maksimum pada jam puncak. Penelitian ini menyimpulkan bahwa simpang masih berfungsi cukup baik, namun peningkatan kapasitas seperti pembangunan *flyover* direkomendasikan untuk mengurangi tundaan dan kemacetan.

Kata kunci : antrian lalu lintas, simpang bersinyal, panjang antrian, waktu tunggu, M/M/1.

ABSTRACT

ANALYSIS OF TRAFFIC QUEUEING SYSTEM AT A FOUR-LEGGED SIGNALIZED INTERSECTION

By

ILHAM MUHAMMAD BINTANG

This research aims to analyze the queuing performance of the signalized intersection at Jalan Urip Sumaharjo – Jalan Soekarno Hatta – Jalan Endro Suratmin in Bandar Lampung, an area characterized by high traffic volume and recurring congestion during peak hours. Primary data were collected through field surveys conducted from 06:30–08:00 and 16:00–17:30, including traffic volume, signal cycle duration, and queue length. The M/M/1 queuing model was applied to evaluate key performance parameters such as arrival rate, service rate, average queue length, and vehicle waiting time. Results indicate that the highest traffic volumes reached 10,523 veh/hour in the morning and 10,569 veh/hour in the afternoon, with the longest queues occurring on the North approach in the morning (47.02 seconds delay) and the South approach in the afternoon (49.96 seconds). The average waiting time within the system was 18.14 seconds, while queue capacities ranged from 51 to 67 vehicles, indicating that the intersection remains operationally stable despite nearing capacity limits during peak periods. The study concludes that the intersection still performs adequately, but capacity improvements—such as constructing a flyover—are recommended to reduce delays and congestion.

Keywords : traffic queue, signalized intersection, queue length, waiting time,
M/M/1.

**ANALISIS SISTEM ANTRIAN LALU LINTAS PADA SIMPANG
BERSINYAL LENGAN EMPAT
(STUDI KASUS: JL. URIP SUMOHARJO – JL. SOEKARNO HATTA – JL.
ENDRO SURATMIN)**

Oleh

ILHAM MUHAMMAD BINTANG

Skripsi

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

Pada

**Jurusan Teknik Sipil
Fakultas Teknik Universitas Lampung**



**FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG
2026**

Judul Skripsi

**: ANALISIS SISTEM ANTRIAN LALU LINTAS
PADA SIMPANG BERSINYAL LENGAN
EMPAT (STUDI KASUS: JL. URIP
SUMOHARJO - JL. SOEKARNO HATTA -
JL. ENDRO SURATMIN)**

Nama Mahasiswa

: Ilham Muhammad Bintang

Nomor Pokok Mahasiswa : 2115011127

Program Studi

: Teknik Sipil

Fakultas

: Teknik



MENYETUJUI

1. Komisi Pembimbing

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

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

2. Ketua Jurusan Teknik Sipil

3. Ketua Program Studi Teknik Sipil

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

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

MENGESAHKAN

1. Tim Penguji

Ketua : **Sasana Putra, S.T., M.T.**

Sekretaris

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

Penguji

Bukan Pembimbing : **Ir. Dwi Herianto, M.T.**

2. Dekan Fakultas Teknik

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

NP 19691030 200003 1 001

Tanggal Lulus Ujian Skripsi : **7 Januari 2026**

LEMBAR PERNYATAAN

Dengan ini menyatakan sebenarnya bahwa:

1. Skripsi yang berjudul Analisis Sistem Antrian Lalu Lintas Pada Simpang Bersinyal Lengan Empat (Studi Kasus: Jl. Urip Sumoharjo – Jl. Soekarno Hatta – Jl. Endro Suratmin) didapat dari Ide Pembimbing I. Skripsi ini berupa penelitian yang tidak melakukan penjiplakan atau pengutipan atas karya penulis lain atau yang disebut dengan plagiarisme.
2. Hak intelektual atas karya ilmiah tersebut diserahkan sepenuhnya kepada para dosen peneliti tersebut dan Universitas Lampung.

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

Bandar Lampung, 16 Desember 2025



Ilham Muhammad Bintang

RIWAYAT HIDUP



Penulis dilahirkan di Kota DKI Jakarta pada tanggal 25 Agustus 2003. Penulis merupakan anak terakhir dari tiga bersaudara, putra dari Bapak Tjetjep Ali Akbar. dan Ibu Sri Ganeviati. Penulis merupakan tiga bersaudara dengan memiliki 1 (satu) kakak perempuan bernama Rachmitha Dewi dan 1 (satu) kakak laki-laki bernama Iqbal Muhammad.

Penulis memulai pendidikan di TK Permata Indah dan melanjutkan pendidikan sekolah dasar di SDN 06 Kapuk Jakarta Barat yang diselesaikan pada tahun 2015. Pada tahun 2018, penulis menyelesaikan pendidikan Sekolah Menengah Pertama di SMPN 100 Jakarta Barat dan melanjutkan Sekolah Menengah Atas di SMAN 23 Jakarta Barat yang diselesaikan pada tahun 2021. Penulis diterima sebagai mahasiswa Jurusan Teknik Sipil, Universitas Lampung pada tahun 2021.

Pada Januari – Februari 2024, penulis mengikuti Kuliah Kerja Nyata di Desa Catur Karya Buana Jaya, Kecamatan Banjar Margo, Kabupaten Tulang Bawang. Sedangkan, pada 15 Juli – 15 September 2024, penulis mengikuti Kerja Praktik pada Proyek Pembangunan Apartemen *Elevee Penthouses & Residences* Alam Sutera di Tangerang. Pada tahun 2023 sampai 2024 penulis tercatat sebagai anggota Himpunan Mahasiswa Teknik Sipil Universitas Lampung sebagai anggota Kesekretariatan.

Selama masa perkuliahan, penulis pernah diangkat menjadi Panitia *LO (Liaison Officer)* pada Soundnergy, Soundnergy merupakan rangkaian acara pada *Civil Brings Revolution* (CBR) yang kedelepan pada tahun 2023. Dan diangkat menjadi Divisi Keamanan pada Soundnergy *Civil Brings Revolution* (CBR) yang kesembilan pada tahun 2024. Selanjutnya, penulis mengambil tugas akhir untuk skripsi pada tahun 2025, dengan judul skripsi Analisis Sistem Antrian Lalu Lintas

Pada Simpang Bersinyal Lengan Empat (Studi Kasus: Jl. Urip Sumoharjo – Jl. Soekarno Hatta – Jl. Endro Suratmin).

PERSEMBAHAN

Alhamdulillahhirabbilalamin, Kuucapkan Syukur atas Karunia-Mu dan Dengan Segala Kerendahan Hati meraihi Ridho Illahi Robbi dan syafaat nabi Muhammad SAW, Kupersembahkan karya Kecilku ini untuk orang-orang yang aku sayangi

Bapak dan Ibuku

Kedua orang tua, Bapak Tjetjep Ali Akbar dan Ibu Sri Ganeviati, yang telah memberikan cinta, dukungan, doa yang besar dan pengorbanan yang tak terhingga. Terima kasih telah memberikan saya kekuatan dan semangat untuk menyelesaikan studi ini.

Kakakku Tersayang

Untuk panutanku kakak tersayang yang sudah memberikan motivasi dan selalu ada di sisi saya dalam suka dan duka, memberikan semangat serta hiburan.

Dosen Teknik Sipil

Yang telah memberikan ilmu dan petunjuk selama proses belajar mengajar ini. Tidak lelah untuk memberi ilmu serta membimbing hingga terselesainya skripsi ini.

Keluarga Besar Teknik Sipil 2021 (ASPIRE)

Yang selalu membantu, memberikan semangat, selalu memberikan dukungan moral dan bantuan saat saya membutuhkannya.

Diri Saya Sendiri

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

MOTTO

“Hidup bukan saling mendahului, bermimpilah sendiri-sendiri.”

-Baskara Putra

“One day I’m gonna grow wings.”

-Radiohead

“When you want it the most there’s no easy way out. When you’re ready to go and your heart’s left in doubt. Don’t give up on your faith.”

-Celine Dion

“Hatiku tenang karena mengetahui bahwa apa yang melewatkanmu tidak akan pernah menjadi takdirmu dan apa yang ditakdirkan untukmu tidak akan pernah melewatkanmu.”

(Umar Bin Khattab)

“Allah tidak membebani seseorang melainkan dengan kesanggupannya. Dia mendapat (pahala) dari (kebijakan) yang dikerjakannya dan mendapat (siksa) dari (kejahatan) yang diperbuatnya.”

(Q.S. Al-Baqarah: 286)

SANWACANA

Atas berkat rahmat hidayat Allah S.W.T. dengan mengucapkan puja – puji syukur Alhamdulillah, penulis mampu menyelesaikan skripsi yang berjudul “Analisis Sistem Antrian Lalu Lintas Pada Simpang Bersinyal Lengan Empat (Studi Kasus: Jl. Urip Sumoharjo – Jl. Soekarno Hatta – Jl. Endro Suratmin)” sebagai salah satu syarat dalam mendapatkan gelar Sarjana Teknik Sipil di Universitas Lampung. Pada penyusunan laporan, penulis mendapatkan banyak bantuan, dukungan, bimbingan, dan pengarahan dari berbagai pihak. Oleh karena itu, penulis mengucapkan banyak terima kasih kepada:

1. Prof. Dr. Ir. Lusmeilia Afriani, D.E.A., I.P.M, selaku Rektor Universitas Lampung sekaligus Dosen Teknik Sipil.
2. Dr. Eng. Helmy Fitriawan, S.T., M.Sc., selaku Dekan Fakultas Teknik, Universitas Lampung.
3. Bapak Suyadi, S.T., M.T., selaku Ketua Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Lampung.
4. Bapak Sasana Putra, S.T., M.T., selaku Ketua Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Lampung dan Dosen Pembimbing Utama yang sudah meluangkan waktunya dalam memberikan bimbingan dan pengarahan dalam proses penyelesaian skripsi. Diucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya atas pengetahuan, ide, inspirasi, dan petunjuk yang sangat berharga, khususnya dalam proses penyelesaian skripsi ini. Saya juga ingin mengucapkan terima kasih atas kebaikan hati, pemahaman, dan kesabaran yang telah diberikan selama proses penulisan ini. Saya berharap semua kebaikan yang telah Bapak berikan akan selalu membawa berkah bagi Bapak dan seluruh keluarga.
5. Ibu Dr. Ir. Rahayu Sulistyorini, S.T., M.T., selaku Dosen Pembimbing Kedua yang sudah meluangkan waktunya dalam memberikan arahan, bimbingan, dan

dukungannya dalam proses penyelesaian skripsi. Diucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya atas pengetahuan, ide, inspirasi, dan petunjuk yang sangat berharga, khususnya dalam proses penyelesaian skripsi ini. Saya juga ingin mengucapkan terima kasih atas kebaikan hati, pemahaman, dan kesabaran yang telah diberikan selama proses penulisan ini. Saya berharap semua kebaikan yang telah Ibu berikan akan selalu membawa berkah bagi Ibu dan seluruh keluarga.

6. Bapak Ir. Dwi Herianto, 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. Semoga segala kebaikan Bapak akan selalu membawa keberkahan bagi Bapak dan Keluarga.
7. Bapak Ir. Andius Dasa Putra, S.T.M.T., Ph.D., selaku Dosen Pembimbing Akademik atas bimbingan dan pengarahan selama masa perkuliahan.
8. Seluruh Dosen Jurusan Teknik Sipil yang sudah memberikan ilmu dan wawasan yang bermanfaat dalam proses pembelajaran agar lebih baik kedepannya.
9. Orang tuaku tercinta, Bapak Tjetjep Ali Akbar dan Ibu Sri Ganeviati, teruntuk ayah dan ibu asa sangat berterima kasih, Terima kasih untuk segala kasih sayang, dukungan, dan wawasan yang diberikan selama ini hingga mengantarkan pada titik akhir perkuliahan ini.
10. Kepada Rizky Novranda, Naufal Hakim, dan Pramudya Novan, yaitu teman-teman dari awal kuliah ini yang selalu berbagi kisah senang, susah, sedih terima kasih kepada kalian, semoga kedepannya kita tetap solid.
11. Skripsi ini saya persembahkan untuk Zulfa Afifah, terima kasih banyak atas segala perhatian dan bantuan yang telah diberikan sehingga saya bisa menyelesaikan skripsi sebagai seorang mahasiswa. Terima kasih karena sudah meluangkan waktunya untuk membantu dalam pengumpulan data sehingga skripsi ini bisa selesai, bantuan dan motivasi yang kamu berikan sungguh bermakna.
12. Keluarga besar angkatan 2021 (ASPIRE) yang menemani, memberikan pelajaran, semangat, serta dukungan yang luar biasa dalam proses awal

perkuliahan sampai dengan penyelesaian skripsi. Terimakasih kita sudah bertahan dan menjalani kehidupan kampus yang terkesan ini. Semoga pengalaman kita selama dikampus ini dapat membawa kita meraih mimpi.

13. Teman-teman saya semasa SMA (Mario, Ambon, Ariq, Tara, Yusron, Venlee, Zafira, Danisha, Ratna, Maureen, Mutiara), yang selalu hadir dan menghibur membawa kegembiraan ataupun kesusahan yang tidak bisa disebutkan satu persatu namun terima kasih kalian semua yang pernah ada di dalam setiap proses pengerjaan skripsi ini.

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

Bandar Lampung, Desember 2025

Penulis,

Ilham Muhammad Bintang

DAFTAR ISI

Halaman

DAFTAR GAMBAR	iii
DAFTAR TABEL	iv
I. PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Tujuan Penelitian.....	2
1.4 Batasan Masalah.....	3
1.5 Manfaat Penelitian	3
1.6 Sistematika Penulisan.....	4
II. TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 Persimpangan	5
2.2 Teori Antrian	7
2.3 Sistem Antrian	7
2.4 Fasilitas Pelayanan	9
2.5 Lampu Lalu Lintas	10
2.6 Komponen Sistem Antrian	12
2.7 Karakteristik Kendaraan.....	14
2.8 Karakteristik Arus Lalu Lintas	15
2.9 Waktu Siklus	16
2.10 Proses Stokastik	18
2.11 Model Antrian	18
2.12 Uji Distribusi Data	23

III. METODOLOGI PENELITIAN	25
3.1 Diagram Alir Penelitian.....	25
3.2 Lokasi dan Waktu Penelitian.....	26
3.3 Metode Pengumpulan Data	29
3.4 Analisis Data	32
IV. HASIL DAN PEMBAHASAN	34
4.1 Geometri Jalan	34
4.2 Volume Lalu Lintas	36
4.3 Waktu Siklus	38
4.4 Waktu Pelayanan Simpan.....	39
4.5 Panjang Antrian.....	40
4.6 Kapasitas Antrian	43
4.7 Tingkat Pelayanan dan Tingkat Kedatangan.....	44
4.8 Uji Distribusi.....	47
4.9 Model Antrian	50
V. KESIMPULAN DAN SARAN	63
5.1 Kesimpulan	63
5.2 Saran.....	64

DAFTAR PUSTAKA
LAMPIRAN

DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
2.1. Tipikal simpang dan kode simpang.....	6
2.2. Bentuk sistem antrian.....	8
2.3. Sistem antrian jalur tunggal.	9
2.4. Sistem antrian jalur tunggal tahapan berganda.	9
2.5. Sistem antrian jalur berganda satu tahap.....	10
2.6. Sistem antrian jalur berganda tahapan berganda.....	10
2.7. Konflik primer dan sekunder pada simpang bersinyal.....	11
2.8. Struktur umum model antrian..	12
2.9. Desain sistem antrian dasar.....	13
2.10. Distribusi eksponensial.	14
2.11. Model dasar untuk arus jenuh.	17
3.1. Diagram alir penelitian.....	25
3.2. Lanjutan diagram alir penelitian.	26
3.3. Lokasi penelitian.	27
3.4. Sketsa lokasi penelitian.	28
3.5. Sketsa kendaraan yang masuk ke area pelayanan.	30
3.6. Sketsa kendaraan menunggu di area pelayanan.	30
3.7. Sketsa kendaraan di area penelitian.	31
3.8. Sketsa kendaraan keluar dari area penelitian.	31
4.1. Sketsa keterangan arah kendaraan.	36
4.2. Diagram siklus sinyal persimpangan.	38
4.3. Diagram perbandingan waktu antrian.	41

DAFTAR TABEL

Tabel	Halaman
2.1. Nilai normal waktu antar hijau.....	16
2.2. Simbol model antrian	22
4.1. Jumlah kendaraan pada pagi hari (kend/jam).....	37
4.2. Jumlah kendaraan pada sore hari (kend/jam).....	37
4.3. Jumlah kendaraan pada pagi hari dan sore hari (kend/jam).....	37
4.4. Kapasitas antrian pada pagi hari	43
4.5. Kapasitas antrian pada sore hari.....	43

I. PENDAHULUAN

I.1 Latar Belakang

Menurut PP 43/ 1993 tentang Prasarana dan Lalu Lintas Jalan, simpang adalah pertemuan atau percabangan jalan baik sebidang maupun yang tak sebidang. Simpang merupakan tempat yang rawan terhadap kecelakaan karena terjadinya konflik antara pergerakan kendaraan dengan pergerakan kendaraan lainnya [1]. Simpang juga merupakan titik penting dalam jaringan jalan, di mana kendaraan dari berbagai arah bertemu dan harus berinteraksi untuk melanjutkan perjalanan mereka, maka dari itu persimpangan ialah suatu tempat yang sering kali terjadinya kecelakaan lalu lintas akibat adanya konflik pergerakan kendaraan yang bersilangan bersama kendaraan lainnya dan juga faktor dari pejalan kaki serta kegiatan usaha berbasis jalan lainnya [2].

Kota Bandar Lampung memiliki posisi strategis dengan banyak persimpangan yang menjadi jalur utama bagi kendaraan berat dan ringan antar kota. Salah satu simpang bersinyal penting di kota ini adalah Simpang Jalan Urip Sumaharjo – Jalan Soekarno Hatta – Jalan Endro Suratmin, yang terletak di kawasan dengan aktivitas industri dan ekonomi yang tinggi. Jalan Soekarno Hatta, sebagai jalur penghubung antar kota, memiliki volume lalu lintas yang padat, terutama pada jam sibuk, sehingga sering terjadi antrean panjang dan kemacetan. Oleh karena itu, diperlukan analisis sistem antrean pada lampu lalu lintas guna meningkatkan efisiensi pergerakan kendaraan di kawasan ini.

Sistem antrean merupakan mekanisme yang mengatur urutan pelayanan berdasarkan kondisi pelanggan dalam antrean (Taha, 1996). Dalam lalu lintas, antrean kendaraan di persimpangan bersinyal sering kali menjadi penyebab

kemacetan akibat pengaturan waktu lampu lalu lintas yang kurang optimal. Terdapat beberapa jenis sistem antrian, seperti *First Come First Served (FCFS)* yang melayani kendaraan sesuai urutan kedatangan, *Last Come First Served (LCFS)* yang melayani kendaraan terakhir terlebih dahulu, *Service in Random Order (SIRO)* yang memberikan pelayanan secara acak, serta *Priority* yang mengutamakan kendaraan tertentu [3].

Analisis antrian berfokus pada proses antri itu sendiri, yang dipengaruhi oleh pola kedatangan, proses pelayanan, dan disiplin antrian. Disiplin antrian mengacu pada aturan dalam melayani pengantri, seperti *First In First Out (FIFO)*, di mana yang pertama datang akan dilayani lebih dulu. Dalam sistem antrian, terdapat dua jenis saluran pelayanan: saluran tunggal, di mana hanya ada satu jalur pelayanan, dan saluran majemuk, yang memiliki lebih dari satu jalur dan beroperasi secara bersamaan [4]. Oleh karena itu, diperlukan analisis dan pemodelan sistem antrian untuk mengoptimalkan waktu tunggu kendaraan di lampu lalu lintas. Penelitian ini akan menganalisis kinerja sistem antrian pada simpang bersinyal di Jalan Urip Sumaharjo – Jalan Soekarno Hatta – Jalan Endro Suratmin, guna memberikan solusi yang dapat mengurangi kemacetan dan meningkatkan efisiensi lalu lintas.

I.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang permasalahan yang telah diuraikan, maka dapat dirumuskan pertanyaan penelitian yaitu bagaimana model antrian yang terjadi pada setiap lengan simpang bersinyal di Jalan Urip Sumaharjo – Jalan Soekarno Hatta – Jalan Endro Suratmin pada pagi dan sore hari.

I.3 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Mengidentifikasi tingkat kedatangan pada simpang bersinyal dan menguji apakah distribusinya mengikuti pola Poisson.

2. Menganalisis tingkat pelayanan pada simpang bersinyal dan menguji apakah distribusinya Eksponensial.
3. Menganalisis kinerja sistem antrian pada simpang bersinyal di Jalan Urip Sumaharjo – Jalan Soekarno Hatta – Jalan Endro Suratmin.

I.4 Batasan Masalah

Batasan masalah yang diterapkan dalam penelitian ini antara lain:

1. Penelitian ini difokuskan pada sistem antrean lampu lalu lintas pada pagi hari antara pukul 06.30 – 08.00 WIB dan pada sore hari antara pukul 16.00 – 17.30 WIB.
2. Penelitian hanya dilakukan berdasarkan data yang diperoleh pada simpang bersinyal di Jalan Urip Sumaharjo – Jalan Soekarno Hatta – Jalan Endro Suratmin.
3. Data yang digunakan merupakan data primer yang diperoleh melalui pengamatan langsung di lokasi penelitian.
4. Data yang dianalisis adalah data pada setiap lengan simpang bersinyal di Jalan Urip Sumaharjo – Jalan Soekarno Hatta – Jalan Endro Suratmin.
5. Data jumlah kedatangan yang digunakan adalah data kendaraan yang datang tanpa mempertimbangkan jumlah kendaraan yang tersisa pada siklus lampu lalu lintas sebelumnya.

I.5 Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian ini antara lain:

1. Penelitian ini dapat menjadi referensi bagi penelitian selanjutnya dalam pengembangan teori antrian.
2. Untuk mengetahui kinerja simpang bersinyal pada Jalan Urip Sumaharjo – Jalan Soekarno Hatta – Jalan Endro Suratmin.

I.6 Sistematika Penulisan

Skripsi ini disusun dengan sistematika penulisan sebagai berikut:

BAB I Pendahuluan

Bab ini menjelaskan latar belakang, rumusan masalah, batasan penelitian, tujuan, manfaat serta sistematika penulisan.

BAB II Tinjauan Pustaka

Bab ini berisi teori yang mendasari penelitian yang akan digunakan dalam penyelesaian masalah dan penelitian terdahulu.

BAB III Metodologi Penelitian

Bab ini menjelaskan gambaran umum, lokasi penelitian, diagram alir dan prosedur-prosedur dalam penyelesaian masalah.

BAB IV Hasil dan Pembahasan

Bab ini membahas tentang hasil pembahasan dan analisis data yang diperoleh dari pembahasan.

BAB V Kesimpulan dan Saran

Bab ini berisi kesimpulan dari hasil-hasil yang didapat dari pengolahan data dan memberikan saran untuk hasil tersebut.

II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Persimpangan

Direktorat Jenderal Bina Marga (2023) mendefinisikan persimpangan sebagai titik pertemuan antara dua atau lebih ruas jalan. Persimpangan dapat diklasifikasikan ke dalam beberapa jenis, yaitu simpang tidak bersinyal, simpang dengan Alat Pemberi Isyarat Lalu Lintas (APILL), bundaran, dan simpang tidak sebidang. Tingkat pelayanan suatu persimpangan ditentukan berdasarkan kinerjanya, yang mencakup aspek kapasitas, panjang antrian, tundaan, serta parameter lainnya yang memengaruhi kelancaran arus lalu lintas [5].

PKJI (2023), mendefinisikan simpang tak bersinyal sebagai salah satu jenis persimpangan yang merupakan pertemuan dua atau lebih ruas jalan sebidang yang tidak diatur oleh Alat Pemberi Isyarat Lalu lintas (APILL). Pedoman Kapasitas Jalan Indonesia (PKJI) 2023, menetapkan perhitungan untuk keperluan perancangan dan evaluasi kinerja simpang, meliputi kapasitas simpang (C), dan kinerja lalu lintas simpang yang diukur oleh derajat kejenuhan (DJ), tundaan (T), dan peluang antrian (PA), untuk Simpang-3 dan Simpang-4 yang berada di wilayah perkotaan atau semi perkotaan [6].

2.1.1 Pengaturan Simpang

Berdasarkan *Highway Capacity Manual* (HCM, 2000), persimpangan diklasifikasikan menurut metode pengaturannya menjadi dua jenis berikut:

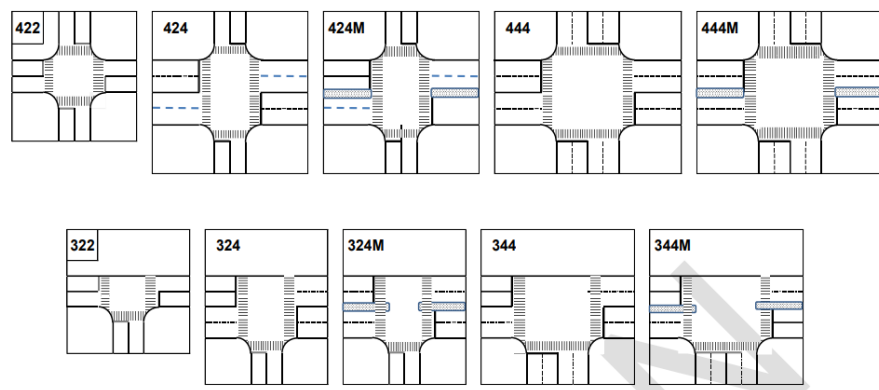
1. Persimpangan tak bersinyal (*unsignalized intersection*), yaitu persimpangan yang tidak dilengkapi lampu lalu lintas. Pada tipe ini,

para pengguna jalan harus secara mandiri menilai apakah kondisi cukup aman untuk melintas atau mereka perlu berhenti terlebih dahulu.

2. Persimpangan bersinyal (*signalized intersection*), yaitu persimpangan yang diatur menggunakan lampu lalu lintas. Pada jenis persimpangan ini, pengguna jalan diperbolehkan melintas sesuai dengan instruksi dari sinyal lalu lintas, yakni hanya saat lampu hijau menyala pada jalur mereka.

2.1.2 Tipe Simpang

Menurut PKJI (2023), pengelompokan simpang berdasarkan jumlah lengan simpang, konfigurasi jumlah lajur jalan minor dan jumlah lajur jalan mayor. Tipe simpang diberi kode tiga angka, angka pertama menunjukkan jumlah lengan simpang, angka kedua menunjukkan jumlah lajur pada pendekatan jalan minor, dan angka ketiga menunjukkan jumlah lajur pada pendekatan jalan mayor. Kode simpang ada yang diberi tambahan huruf M pada angka ke 4, menunjukkan adanya median pada jalan mayor. Contoh, 424 adalah Simpang-4 yang merupakan pertemuan antara jalan minor tipe dua lajur dua arah, dan jalan mayor tipe 4 lajur 2 arah. Kode 424M menunjukkan bahwa pada simpang tersebut, jalan mayor memiliki median [7]. Tipikal simpang dan kode simpang dapat dilihat pada Gambar 2.1.



Gambar 2.1. Tipikal simpang dan kode simpang.

2.2 Teori Antrian

Menurut Humphreys (1991), teori antrian adalah studi matematis tentang garis tunggu atau antrian. Dalam teori antrian, sebuah model yang dibuat agar panjang antrian dan waktu tunggu dapat diprediksi.

Secara umum, teori antrian merupakan cabang dari riset operasional karena hasilnya digunakan dalam pengambilan keputusan bisnis terkait sumber daya yang diperlukan dalam penyediaan layanan. Antrian adalah garis tunggu, tetapi istilah "antrian" secara luas mencakup berbagai masalah yang biasanya berkaitan dengan keseimbangan ekonomi dan optimasi yang melibatkan waktu tunggu dan penundaan dalam melayani orang atau peralatan.

Teori antrian berawal dari penelitian yang dikembangkan oleh Agner Krarup Erlang, yang menciptakan model untuk menggambarkan pertukaran telepon di Kopenhagen. Konsep ini kemudian diperluas ke berbagai aplikasi seperti telekomunikasi, rekayasa lalu lintas, komputasi, serta perancangan pabrik, toko, kantor, dan rumah sakit [8].

Proses antrean merupakan serangkaian tahapan yang mencakup waktu kedatangan kendaraan, masa tunggu dalam antrean, hingga waktu keberangkatan. Tujuan teori antrean adalah menganalisis rangkaian kejadian dalam sistem antrean untuk memahami pola serta meningkatkan efisiensi pergerakan kendaraan [9].

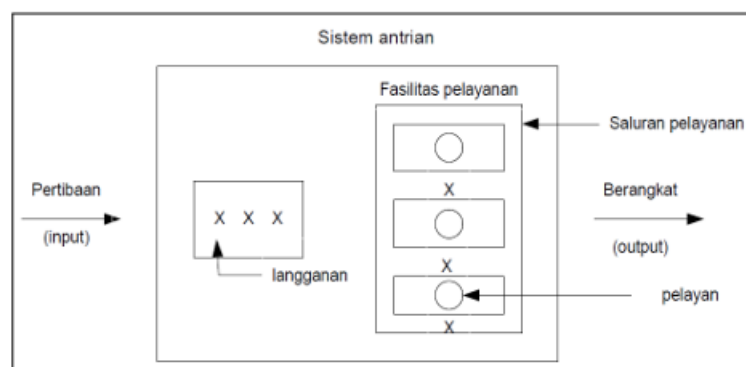
2.3 Sistem Antrian

Sistem antrian dapat dijelaskan sebagai proses di mana kendaraan tiba dan kemudian menunggu karena adanya hambatan sebelum akhirnya meninggalkan antrian. Salah satu elemen penting dalam model antrian adalah pola kedatangan. Pola kedatangan kendaraan dapat dilihat dari waktu antara kedatangan dua kendaraan berturut-turut (*interarrival time*), yang bisa bersifat deterministik

atau stokastik. Pola kedatangan dikategorikan sebagai deterministik jika waktu kedatangan tetap dan tidak berubah, sehingga waktu kedatangan antar kendaraan dapat diprediksi. Dalam hal ini, panjang antrian cenderung stabil. Sebaliknya, pola kedatangan stokastik ditandai dengan waktu kedatangan antar kendaraan yang bervariasi dan tidak dapat dipastikan, yang dapat dihitung menggunakan rumus tertentu berdasarkan nilai distribusi. Dengan pola kedatangan yang tidak tetap, panjang antrian juga akan berfluktuasi.

Sistem antrian mengacu pada proses kedatangan pelanggan yang membutuhkan layanan. Ketika terjadi kemacetan, laju kendaraan menjadi lambat atau bahkan terhenti di suatu jalur, sehingga menyebabkan terbentuknya antrian. Kondisi ini tidak hanya berdampak pada jalur tersebut, tetapi juga dapat mengganggu arus lalu lintas di jalur lain dan persimpangan yang berdekatan. Masalah ini umumnya disebabkan oleh ketidakseimbangan antara volume kendaraan yang masuk dan keluar dari persimpangan, serta tersumbatnya jalur di bagian hilir akibat padatnya lalu lintas [10].

Dalam sistem antrian, terdapat kondisi di mana unit yang membutuhkan layanan menolak untuk bergabung dalam antrian jika antrean terlalu panjang, yang dikenal sebagai *balking*. Selain itu, terdapat pula pelanggan yang meninggalkan sistem sebelum menerima layanan karena ketidaksabaran, yang disebut *reneging* [11].



Gambar 2.2. Bentuk sistem antrian.

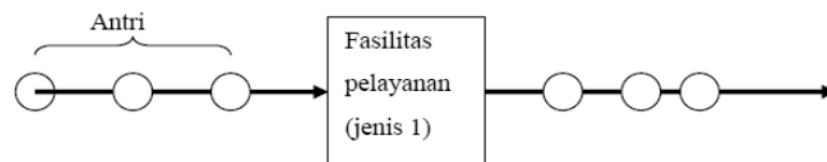
2.4 Fasilitas Pelayanan

Transportasi adalah proses pendistribusian barang ke beberapa tempat. Tingginya permintaan akan transportasi menyebabkan kurangnya efisiensi kinerja dalam melayani masyarakat atau pelanggan (Ardini & Lutfiyana, 2018) [12]. Fasilitas pelayanan memiliki keterkaitan yang erat dengan pola antrian yang terbentuk. Desain fasilitas pelayanan ini dapat diklasifikasikan ke dalam tiga bentuk utama [13], yaitu:

1. Bentuk seri, di mana layanan disusun dalam satu garis lurus atau melingkar.
2. Bentuk paralel, yang terdiri dari beberapa garis lurus sejajar satu sama lain.
3. Bentuk stasiun jaringan (*network station*), yang dapat dirancang dalam pola seri dengan lebih dari satu layanan di setiap stasiun, atau dalam pola paralel dengan berbagai stasiun yang berbeda.

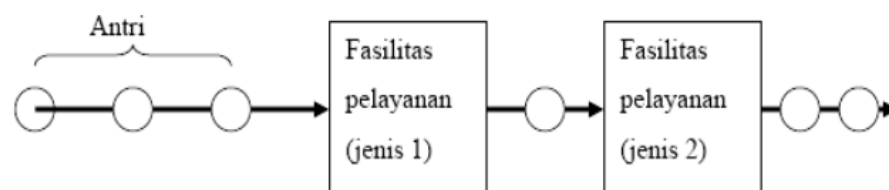
Sementara itu, sistem antrian dapat dikategorikan sebagai berikut:

1. Sistem antrian jalur tunggal (*single channel single phase*), yaitu sistem di mana hanya terdapat satu pemberi layanan yang menyediakan satu jenis layanan tertentu.



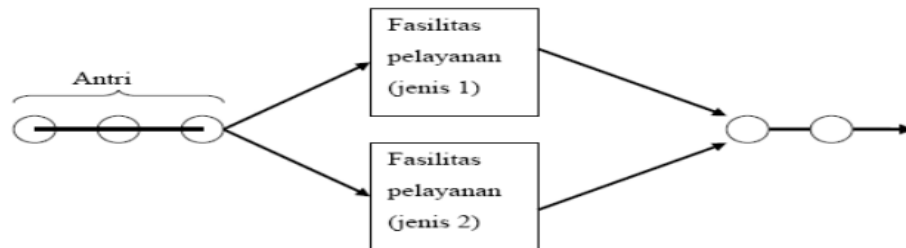
Gambar 2.3. Sistem antrian jalur tunggal.

2. Sistem antrian jalur tunggal dengan tahapan berganda (*single channel multi-phase*), yaitu sistem antrian di mana terdapat lebih dari satu jenis layanan yang harus dilalui secara berurutan, tetapi setiap jenis layanan hanya memiliki satu pemberi layanan.



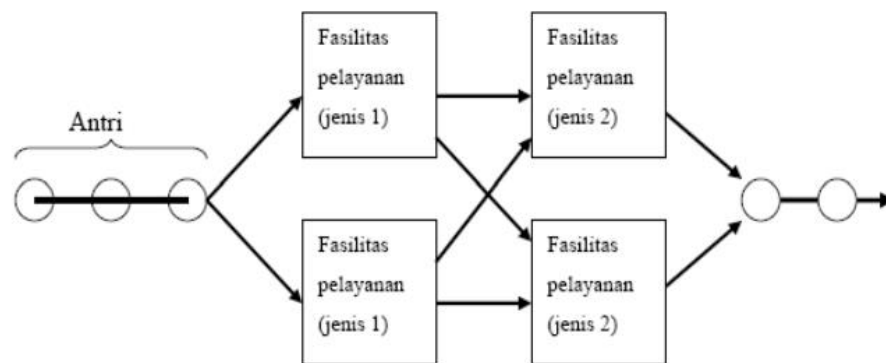
Gambar 2.4. Sistem antrian jalur tunggal tahapan berganda.

3. Sistem antrian jalur berganda satu tahap (*multi channel single server*), di mana dalam sistem antrian terdapat satu jenis layanan dalam sistem antrian tersebut, namun terdapat lebih dari satu pemberi layanan.



Gambar 2.5. Sistem antrian jalur berganda satu tahap.

4. Sistem antrian jalur berganda tahapan berganda (*multi channel, multi server*), di mana terdapat lebih dari satu jenis layanan dan terdapat lebih dari satu pemberi layanan dalam setiap jenis layanan.

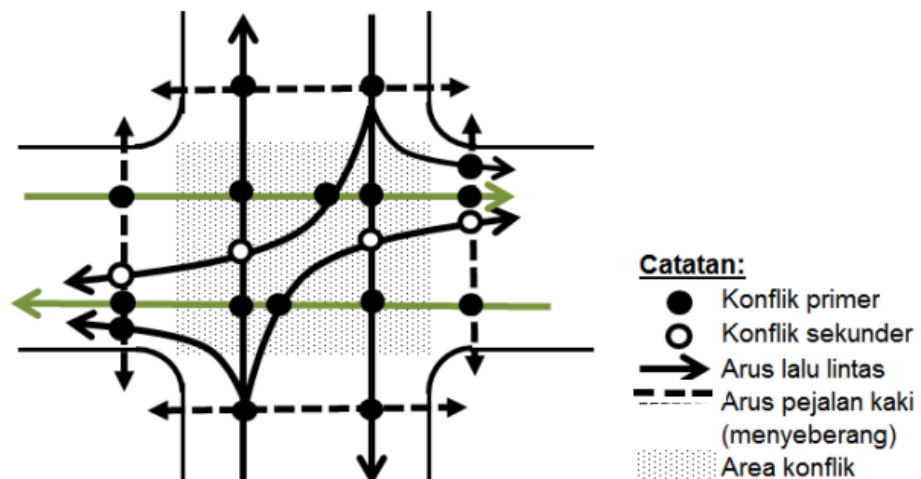


Gambar 2.6. Sistem antrian jalur berganda tahapan berganda.

2.5 Lampu Lalu Lintas

Lampu lalu lintas umumnya digunakan untuk mengatur arus kendaraan di setiap jalur agar bergerak secara bergantian, sehingga kemacetan dapat dihindari. Namun, permasalahan sering muncul ketika pengaturan durasi waktu lampu lalu lintas tidak optimal, yang menyebabkan antrean kendaraan yang panjang. Oleh karena itu, diperlukan model waktu tunggu yang tepat untuk diterapkan dalam sistem pengendalian lalu lintas dengan lampu lalu lintas guna mencegah peningkatan panjang antrean kendaraan [14].

Menurut Manual Kapasitas Jalan Indonesia (1997), penggunaan sinyal lalu lintas dengan lampu tiga warna (hijau, kuning, merah) diterapkan untuk memisahkan lintasan gerakan lalu lintas yang saling bertentangan dalam dimensi waktu. Penerapan ini diperlukan untuk mengatur arus kendaraan yang datang dari jalan-jalan yang berpotongan, yang disebut sebagai konflik primer. Selain itu, sinyal lalu lintas juga dapat digunakan untuk memisahkan gerakan kendaraan yang berbelok dari arus lalu lintas yang bergerak lurus secara berlawanan atau untuk memisahkan kendaraan yang berbelok dari pejalan kaki yang menyeberang, yang disebut sebagai konflik sekunder [15]. Konflik primer dan sekunder pada persimpangan bersinyal dengan empat lengan dapat dilihat pada Gambar 2.7.



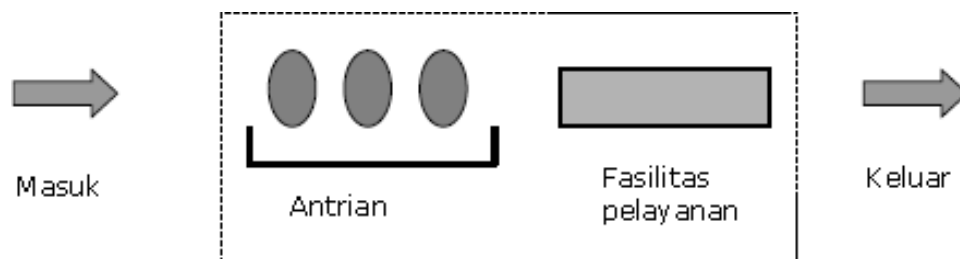
Gambar 2.7. Konflik primer dan sekunder pada simpang bersinyal.

Pada umumnya, pengaturan waktu lampu lalu lintas menggunakan metode *Fixed Time Operation*, yaitu sistem yang menetapkan waktu siklus dan durasi fase secara tetap dalam periode tertentu. Dengan sistem ini, panjang siklus dan fase tidak mengalami perubahan selama interval yang telah ditentukan. Namun, pada kondisi tertentu, metode ini kurang efisien dibandingkan sistem yang menyesuaikan pengaturan waktu secara dinamis berdasarkan perubahan volume lalu lintas. Oleh karena itu, diperlukan pendekatan alternatif, seperti penggunaan *multi-setting*, yang memungkinkan pengaturan berbeda pada

berbagai situasi dalam satu hari. Umumnya, periode pengaturan ini disesuaikan dengan jam sibuk, seperti pagi dan sore hari [16].

2.6 Komponen Sistem Antrian

Sistem antrian terdiri dari dua komponen utama: (1) Garis tunggu (queue) dan (2) Fasilitas pelayanan (service facility). Pelanggan mengantri untuk memasuki fasilitas pelayanan, menerima layanan, dan kemudian meninggalkan sistem. Selain itu, ada komponen lain dalam sistem antrian (Yamit, 1993).



Gambar 2.8. Struktur umum model antrian.

a. Karakteristik Kedatangan

Kedatangan atau masukan sistem memiliki karakteristik seperti ukuran populasi, perilaku dan sebuah distribusi statistik (Heizer dan Render, 2006:659). Dalam teori antrian, "kedatangan" mengacu pada proses masuknya entitas, seperti pelanggan, transaksi, atau permintaan, ke dalam sistem antrian.

Jay dan Barry (2005) menyebutkan tiga karakteristik utama kedatangan pelanggan:

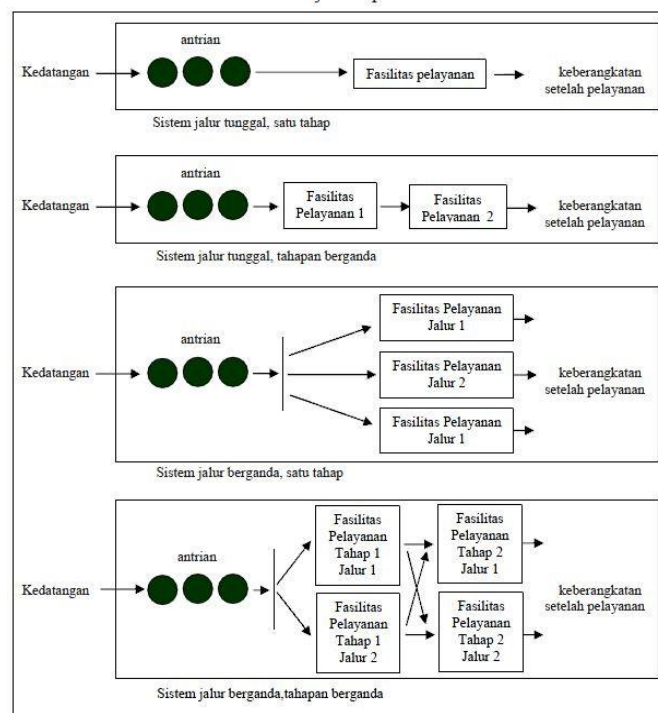
1. Ukuran populasi (terbatas atau tidak terbatas),
2. Perilaku kedatangan (pelanggan sabar atau meninggalkan antrian),
3. Pola kedatangan, yang sering kali mengikuti distribusi Poisson.

b. Karakteristik Antrian

Garis antrian adalah komponen kedua dalam sistem antrian. Panjang antrian dapat bersifat terbatas atau tidak terbatas. Antrian dikatakan terbatas jika kapasitasnya terbatas, sementara antrian tidak terbatas jika jumlah pelanggan yang dapat mengantri tidak dibatasi. Aturan antrian (disiplin antrian) menentukan urutan pelanggan dalam menerima pelayanan.

Sebagian besar sistem antrian mengikuti aturan First In First Out (FIFO), di mana pelanggan yang datang lebih awal akan dilayani lebih dulu (Jay dan Barry, 2005). Menurut Haluan dalam Rejeki (2005), beberapa aturan antrian yang umum diterapkan adalah:

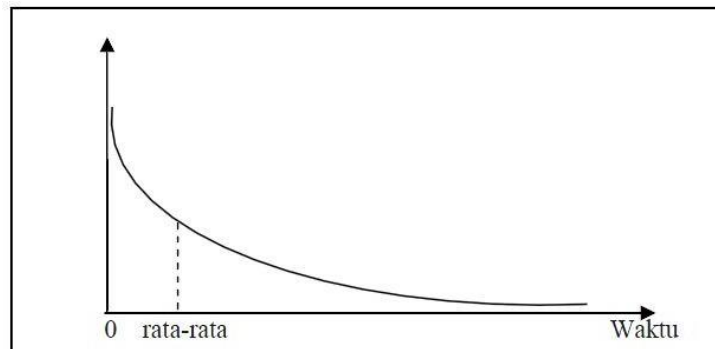
- First In First Out (FIFO)* atau *First Come First Served (FCFS)*: Pelayanan berdasarkan urutan kedatangan, yang pertama datang akan pertama dilayani.
- Last In First Out (LIFO)* atau *Last Come First Serve (LCFS)*: Pelayanan berdasarkan urutan kedatangan terakhir, yang datang terakhir akan pertama dilayani.
- Priority Service (PS)*: Pelayanan didasarkan pada prioritas, di mana pelanggan dengan prioritas lebih tinggi akan dilayani terlebih dahulu meskipun datang belakangan.
- Service In Random Order (SIRO)*: Pelayanan diberikan secara acak tanpa memperhatikan urutan kedatangan.
- General Service Discipline (GD)*: Pelayanan dilakukan sesuai dengan aturan dan tata tertib yang disepakati bersama.



Gambar 2.9. Desain sistem antrian dasar.

c. Karakteristik Pelayanan

Karakteristik pelayanan adalah komponen ketiga dalam sistem antrian, yang meliputi dua aspek penting: (1) desain sistem pelayanan dan (2) distribusi waktu pelayanan.



Gambar 2.10. Distribusi eksponensial.

2.7 Karakteristik Kendaraan

Klasifikasi kendaraan dilakukan karena setiap jenis kendaraan menghasilkan spektrum bunyi yang berbeda. Kendaraan sendiri didefinisikan sebagai elemen lalu lintas yang bergerak di atas roda [17]. Secara umum, kendaraan yang beroperasi di jalan raya dapat dikategorikan ke dalam beberapa kelompok yaitu:

a. Sepeda Motor (SM)

Kendaraan bermotor roda 2 (dua) dan 3 (tiga) dengan panjang $< 2,5$ m. Contoh: Sepeda motor dan kendaraan bermotor roda 3 (tiga).

b. Mobil Penumpang (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. Contoh: Sedan, jeep, minibus, mikrobus, *pickup*, truk kecil.

c. Kendaraan Sedang (KS)

Bus sedang dan mobil angkutan barang 2 (dua) sumbu dengan panjang $\leq 9,0$ m. Contoh: Bus tanggung, bus metromini, truk sedang.

d. Bus Besar (BB)

Bus besar 2 (dua) dan 3 (tiga) gandar dengan panjang $\leq 12,0$ m. Contoh: Bus antar kota, bus *double decker city tour*.

e. Truk Besar (TB)

Mobil angkutan barang 3 (tiga) sumbu, truk gandeng, dan truk tempel (*semitrailer*) dengan panjang $> 12,0$ m). Contoh: Truk tronton, truk semi *trailer*, truk gandeng.

2.8 Karakteristik Arus Lalu Lintas

Untuk menggambarkan kondisi lalu lintas secara kuantitatif, terdapat sejumlah variabel yang umum digunakan, seperti volume lalu lintas, kecepatan, dan tingkat kepadatan. Volume atau arus lalu lintas (V) didefinisikan sebagai banyaknya kendaraan yang dinyatakan dalam satuan mobil penumpang (SMP), yang melewati suatu titik potong melintang pada jalan dalam kurun waktu tertentu [16]. Terdapat dua parameter utama dalam analisis lalu lintas, yaitu:

2.7.1 Volume Lalu Lintas

Volume lalu lintas diartikan sebagai jumlah kendaraan yang melewati suatu titik tertentu di jalan raya, atau lajur yang ditentukan, dalam suatu interval waktu tertentu.

2.7.2 Kecepatan

Kecepatan merupakan perbandingan antara jarak dan waktu. Terdapat dua jenis waktu yang digunakan dalam pengukuran kecepatan, yaitu waktu perjalanan dan waktu gerak. Waktu gerak dihitung dengan mengurangi waktu tundaan dari waktu perjalanan. Kecepatan biasanya diukur dalam satuan meter per detik, namun untuk mendapatkan hasil yang lebih umum, kecepatan sering dinyatakan dalam satuan kilometer per jam (km/jam) [17].

2.9 Waktu Siklus

Waktu siklus merupakan total durasi yang dibutuhkan oleh suatu rangkaian lampu lalu lintas untuk menyala dalam satu putaran penuh. Panjang waktu siklus ini dipengaruhi oleh kondisi lalu lintas. Jika waktu siklus terlalu singkat, terdapat risiko tinggi terjadinya kemacetan akibat arus kendaraan yang tidak

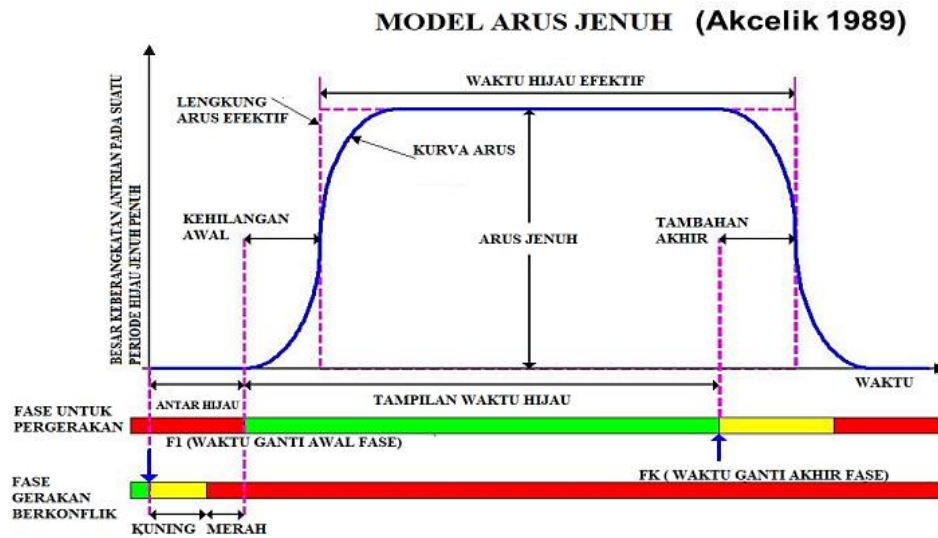
terakomodasi dengan baik. Sebaliknya, jika terlalu lama, akan meningkatkan waktu rata-rata tundaan bagi pengguna jalan. Menurut Lammer semua ruas jalan saling bertentangan (*conflict*), sehingga setiap ruas harus dilayani pada tahap sinyal yang terpisah. Waktu *intergreen* (yaitu waktu semua merah antara fase hijau) hanya bergantung pada sinyal yang akan dilayani berikutnya, tanpa memperhatikan sinyal aktif saat ini [19]. Komponen-komponen dari waktu siklus terdiri dari:

- a. Waktu hijau adalah durasi di mana lampu hijau menyala pada suatu periode (dalam detik). Lama waktu hijau akan mempengaruhi jumlah kendaraan yang dapat melintas di persimpangan selama siklus tersebut.
- b. Waktu kuning (*Amber*) adalah durasi di mana lampu kuning menyala setelah lampu hijau pada suatu periode (dalam detik). Waktu kuning digunakan oleh pengemudi untuk memperlambat kendaraan mereka agar dapat berhenti tepat di garis henti persimpangan. Umumnya, waktu kuning ditetapkan selama 3 detik.
- c. Waktu merah semua (*All Red*) adalah periode di mana semua sinyal merah menyala secara bersamaan yang dilayani oleh fase sinyal yang berlawanan. Waktu merah semua memberikan kesempatan bagi kendaraan terakhir (yang melewati garis henti di akhir sinyal) untuk keluar dari titik konflik sebelum kendaraan yang datang pada fase berikutnya tiba di titik yang sama.
- d. Waktu antar hijau (*Intergreen*) adalah periode yang mencakup waktu kuning dan waktu merah semua (*all red*), yang berfungsi sebagai transisi dari lampu hijau ke lampu merah untuk setiap fase sinyal.

Tabel 2.1. Nilai normal waktu antar hijau

Ukuran simpang	Lebar jalan rata-rata	Nilai normal waktu antar hijau
Kecil	6 – 9 m	4 detik per fase
Sedang	10 – 14 m	5 detik per fase
Besar	≥ 15 m	≥ 6 detik per fase

(Sumber: PKJI, 2023)



Gambar 2.11. Model dasar untuk arus jenuh. (Sumber: Akcelik, 1989)

MKJI (1997) mengadaptasi konsep arus jenuh dasar dari Akcelik (1989), yang secara teori didasarkan pada pergerakan arus kendaraan sesuai dengan disiplin lajur (*lane based*). Besarnya arus jenuh dipengaruhi oleh karakteristik pelepasan arus kendaraan, respons pengemudi, dan sifat perilaku pengemudi. Arus jenuh merupakan pergerakan kendaraan melewati garis berhenti di persimpangan, di mana saat lampu hijau menyala, kendaraan membutuhkan waktu untuk mulai bergerak dan berakselerasi hingga mencapai kecepatan normal. Setelah beberapa detik, kendaraan dalam antrian mulai bergerak dengan kecepatan konstan [20].

Proses awal pergerakan ini menimbulkan terjadinya waktu hilang awal (*start lag*), sementara menjelang akhir fase hijau, sebelum lampu berubah menjadi merah, terjadi tambahan waktu akhir (*end lag*). Konsep waktu hijau efektif kemudian digunakan sebagai dasar dalam menentukan arus jenuh pada simpang bersinyal menurut MKJI (1997). MKJI merekomendasikan total gabungan waktu hilang awal dan tambahan akhir sebesar 4,8 detik. Waktu hijau efektif dihitung sebagai berikut:

Waktu hijau efektif = tampilan waktu hijau – kehilangan awal + tambahan akhir

2.10 Proses Stokastik

Proses stokastik adalah suatu proses yang mengandung suatu ketidak pastian atau sistem yang dijalankan pada suatu lingkungan yang tak dapat diduga, dimana model deterministik tidak lagi cocok untuk menganalisis sistem (Putra, 2017). Proses stokastik sebuah kumpulan peubah acak X_t , dimana t adalah waktu dan X adalah keadaan $\{X_t, t \in T\}$ [21].

Analisis Rantai Markov adalah suatu metode yang mempelajari sifat-sifat suatu variabel pada masa sekarang yang didasarkan pada sifat-sifat masa lalu dalam usaha menaksir sifat-sifat variabel tersebut di masa yang akan datang. Dalam analisis markov yang dihasilkan adalah suatu informasi probabilistik yang dapat digunakan untuk membantu pembuatan keputusan. Analisis markov merupakan suatu bentuk khusus dari model probabilistik yang lebih umum dikenal proses stokastik [22].

Rantai markov waktu kontinu adalah proses stokastik yang bergerak dari suatu keadaan ke keadaan lain sesuai dengan rantai markov, tetapi banyaknya waktu yang dihabiskan di setiap keadaan sebelum melanjutkan ke keadaan berikutnya berdistribusi eksponensial. Banyaknya waktu proses yang dihabiskan di setiap keadaan i , dan keadaan berikutnya yang dikunjungi harus independent terhadap variabel acak (Putra, 2017).

2.11 Model Antrian

Perhatikan kondisi antrian [9] dimana kedatangan terjadi selama interval waktu dikendalikan oleh beberapa asumsi berikut: Asumsi 1: peluang suatu kedatangan terjadi antara t dan $t + s$ hanya bergantung pada panjang s , artinya peluang tidak bergantung pada t atau banyaknya kejadian yang terjadi selama periode waktu $(0, t)$.

Asumsi 2: peluang suatu kejadian terjadi dalam interval waktu yang singkat h adalah positif tetapi kurang dari satu.

Asumsi 3: setidaknya ada satu kejadian yang terjadi dalam interval waktu singkat h . Menurut (Taha, 1997) model-model antrian terbagi menjadi empat jenis, yaitu:

2.11.1 Model 1: (M/M/1):(FCFS/ ∞/∞)

Model ini adalah sistem dengan pelayan tunggal tanpa batasan kapasitas, baik dari kapasitas sistem itu sendiri maupun kapasitas sumber pemanggilan. Kleinrock (1976) membagi kapasitas di antara beberapa antrian $M/M/1$ yang independen, dengan tujuan meminimalkan waktu tunggu rata-rata di semua antrian [23]. Diasumsikan bahwa laju kedatangan tetap konstan dan tidak berpengaruh pada jumlah dalam sistem, yakni $\lambda_n = \lambda$ untuk semua n . Selain itu, pelayan dalam sistem ini bekerja dengan kecepatan konstan, yaitu $\mu_n = \mu$ untuk semua n .

Dengan mendefinisikan tingkat kegunaan fasilitas pelayanan $\rho = \frac{\lambda}{\mu}$, didapatkan persamaan model 1 (M/M/1):(FCFS/ ∞/∞) adalah sebagai berikut:

1. Probabilitas semua fasilitas pelayanan menganggur (tidak ada pelanggan dalam sistem) (P_0):

$$P_0 = 1 - \rho$$

$$P_n = \rho^n (1 - \rho)$$

2. Rata-rata jumlah pelanggan dalam sistem (L_s) dan antrian (L_q):

$$L_s = \frac{\rho}{1 - \rho}$$

$$L_q = L_s - \frac{\lambda}{\mu} = \frac{\rho}{1 - \rho}$$

3. Rata-rata waktu pelanggan dalam sistem (W_s) dan waktu antrian (W_q):

$$W_s = \frac{L_s}{\lambda} = \frac{\rho}{\mu(1 - \rho)}$$

$$W_q = \frac{L_q}{\lambda} = \frac{\rho}{\mu(1 - \rho)}$$

2.11.2 Model 2: (M/M/c):(FCFS/∞/∞)

Dalam model ini para pelanggan tiba dengan laju kedatangan konstan, yaitu λ , dan maksimum c pelanggan dapat dilayani secara bersamaan. Pengaruh dari penggunaan c pelayan yang paralel adalah mempercepat laju pelayanan dengan memungkinkan dilakukannya beberapa pelayanan secara bersamaan.

Dengan mendefinisikan tingkat kegunaan fasilitas pelayanan $\rho = \frac{\lambda}{\mu}$, didapatkan persamaan model 2: (M/M/c):(FCFS/∞/∞) adalah sebagai berikut:

1. Probabilitas tidak ada pelanggan dalam sistem (P_0):

$$P_0 = \frac{1}{\sum_{n=0}^{c-1} \frac{\rho^n}{n!} + \frac{\rho^c}{c! \left(1 - \frac{\rho}{c}\right)}}$$

2. Probabilitas pelanggan harus menunggu untuk dilayani (P_n):

$$P_n = \frac{1}{c!} \left(\frac{\lambda}{\mu}\right)^c \left(\frac{c\mu}{c\mu - \lambda}\right) P_0$$

3. Rata-rata jumlah pelanggan dalam sistem (L_s) dan antrian (L_q):

$$L_q = \frac{\rho^{c+1}}{(c-1)!(c-\rho)^2} P_0$$

$$L_s = L_q + \rho$$

4. Rata-rata waktu antrian (W_q) dan rata-rata waktu dalam sistem (W_s):

$$W_q = \frac{L_q}{\lambda}$$

$$W_s = W_q + \frac{1}{\mu}$$

2.11.3 Model 3: (M/M/1):(FCFS/N/∞)

Model ini mirip dengan Model 1, namun ada pembatasan jumlah pelanggan dalam sistem, yaitu N . Setelah terdapat N pelanggan, pelanggan baru tidak dapat bergabung dengan antrian. Dalam model ini, nilai ρ tetap dihitung dengan menganggap laju kedatangan λ tetap.

Dalam bentuk model yang digeneralisasi maka:

1. $\mu_n = \mu, n = 0, 1, 2, \dots$
2. $\lambda_n = \begin{cases} \lambda, & n = 0, 1, 2, \dots, N-1 \\ 0 & n \geq N \end{cases}$

Dengan asumsi $\rho = \frac{\lambda}{\mu}$ diperoleh,

1. Probabilitas tidak ada pelanggan dalam sistem (P_0):

$$P_0 = \begin{cases} \frac{1 - \rho}{1 - \rho^{N+1}} & \rho \neq 1 \\ \frac{1}{N+1} & \rho = 1 \end{cases}$$

Dengan persamaan:

$$P_n = \begin{cases} \frac{1 - \rho}{1 - \rho^{N+1}} \rho^n & \rho \neq 1 \\ \frac{1}{N+1} & \rho = 1 \end{cases}$$

2. Rata-rata jumlah pelanggan dalam sistem (L_s) dan antrian (L_q):

$$L_s = \begin{cases} \frac{\rho \{1 - (N+1)\rho^N + N\rho^{N+1}\}}{1 - \rho^{N+1}} & \rho \neq 1 \\ \frac{N}{2} & \rho = 1 \end{cases}$$

$$L_q = L_s - \frac{\lambda(1 - \rho_N)}{\mu}$$

3. Rata-rata waktu antrian (W_q) dan waktu dalam sistem (W_s):

$$W_q = \frac{L_q}{\lambda(1 - \rho_N)}$$

$$W_s = W_q + \frac{1}{\mu} = \frac{L_s}{\lambda(1 - \rho_N)}$$

2.11.4 Model 4: (M/M/∞):(FCFS/∞/∞)

Model ini melibatkan jumlah pelayan yang tidak terbatas karena digunakan dalam sistem swalayan, di mana pelanggan dapat berfungsi sebagai pelayan juga. Dalam bentuk model yang digeneralisasi diperoleh:

1. $\mu_n = n\mu, n \geq 0,$
2. $\lambda_n = \lambda, n \geq 0.$

Dengan asumsi $\rho = \frac{\lambda}{\mu}$ diperoleh,

1. Probabilitas tidak ada pelanggan dalam sistem (P_0):

$$P_0 = e^{-\rho}$$

dengan persamaan:

$$P_n = \frac{\rho^n}{n!} P_0$$

2. Rata-rata jumlah pelanggan dalam antrian (L_q) dan sistem (L_s):

$$L_q = 0,$$

$$L_s = \rho.$$

3. Rata-rata waktu antrian (W_q) dan waktu dalam sistem (W_s):

$$W_q = 0,$$

$$W_s = \frac{1}{\mu}$$

Pada tabel berikut dijelaskan lebih lanjut mengenai simbol-simbol yang digunakan pada model-model antrian tersebut beserta satuannya.

Tabel 2.2. Simbol model antrian

No	Simbol	Definisi	Satuan
1.	ρ	Tingkat kegunaan fasilitas pelayanan	-
2.	λ	Tingkat rata-rata kedatangan per satuan waktu	Unit/Waktu
3.	μ	Tingkat rata-rata pelayanan per satuan waktu	Unit/Waktu
4.	L_s	Rata-rata jumlah individu dalam sistem	Unit
5.	W_s	Rata-rata waktu dalam sistem	Waktu
6.	L_q	Rata-rata jumlah individu dalam antrian	Unit
7.	W_q	Rata-rata waktu antrian	Waktu
8.	P_n	Probabilitas terdapat n individu dalam sistem	-
9.	P_0	Probabilitas tidak ada individu dalam sistem	-

2.12 Uji Distribusi Data

Pengujian distribusi data diperlukan untuk mengetahui jenis distribusi data yang diperoleh dalam penelitian. metode parametrik untuk menghitung ukuran sampel pada waktu yang terdistribusi eksponensial pertama kali diterbitkan oleh Epstein dan Sobel. Metode ini menggunakan statistik uji yang mengikuti distribusi chi-kuadrat (chi-square) [24]. Menurut Siegel (1997), uji distribusi dilakukan menggunakan uji Chi Kuadrat, yang bertujuan untuk menentukan apakah sampel yang diambil berasal dari populasi yang mengikuti distribusi tertentu.

- Hipotesis nol (H_0): Sampel yang diambil berasal dari populasi yang mengikuti distribusi yang telah ditentukan.
- Hipotesis alternatif (H_1): Sampel tidak berasal dari populasi dengan distribusi yang ditetapkan.

2.12.1 Distribusi Poisson

Distribusi poisson merupakan distribusi probabilitas diskrit yang menyatakan peluang jumlah kedatangan pelanggan yang terjadi pada periode waktu tertentu, apabila rata-rata kedatangan tersebut diketahui dan dalam waktu yang saling acak dari kedatangan yang sebelumnya. Ivan dan O'Mara (1997) mengembangkan model regresi Poisson untuk memprediksi kecelakaan lalu lintas dengan menggunakan data kecelakaan dari Departemen Transportasi Connecticut. Hasil dari model ini menunjukkan bahwa batas kecepatan yang ditetapkan dan rata-rata harian lalu lintas tahunan adalah variabel prediktif yang kritis, sehingga disimpulkan bahwa model regresi Poisson lebih disukai dibandingkan model regresi linear [25].

H_0 : waktu kedatangan berdistribusi Poisson

H_1 : waktu kedatangan tidak berdistribusi Poisson

Kriteria uji adalah

$$X^2 = \sum \frac{(\lambda_i - \bar{\lambda})^2}{\bar{\lambda}}$$

Dengan X^2 menyatakan Chi Kuadrat.

2.12.2 Distribusi Eksponensial

Distribusi Eksponensial digunakan untuk menggambarkan distribusi waktu pada fasilitas jasa, dimana waktu pelayanan diasumsikan bersifat acak yaitu waktu untuk melayani pelanggan tidak bergantung pada lama waktu yang telah dihabiskan untuk melayani pelanggan sebelumnya serta tidak bergantung pada jumlah pelanggan yang menunggu untuk dilayani

H_0 : waktu pelayanan berdistribusi eksponensial

H_1 : waktu pelayanan tidak berdistribusi eksponensial

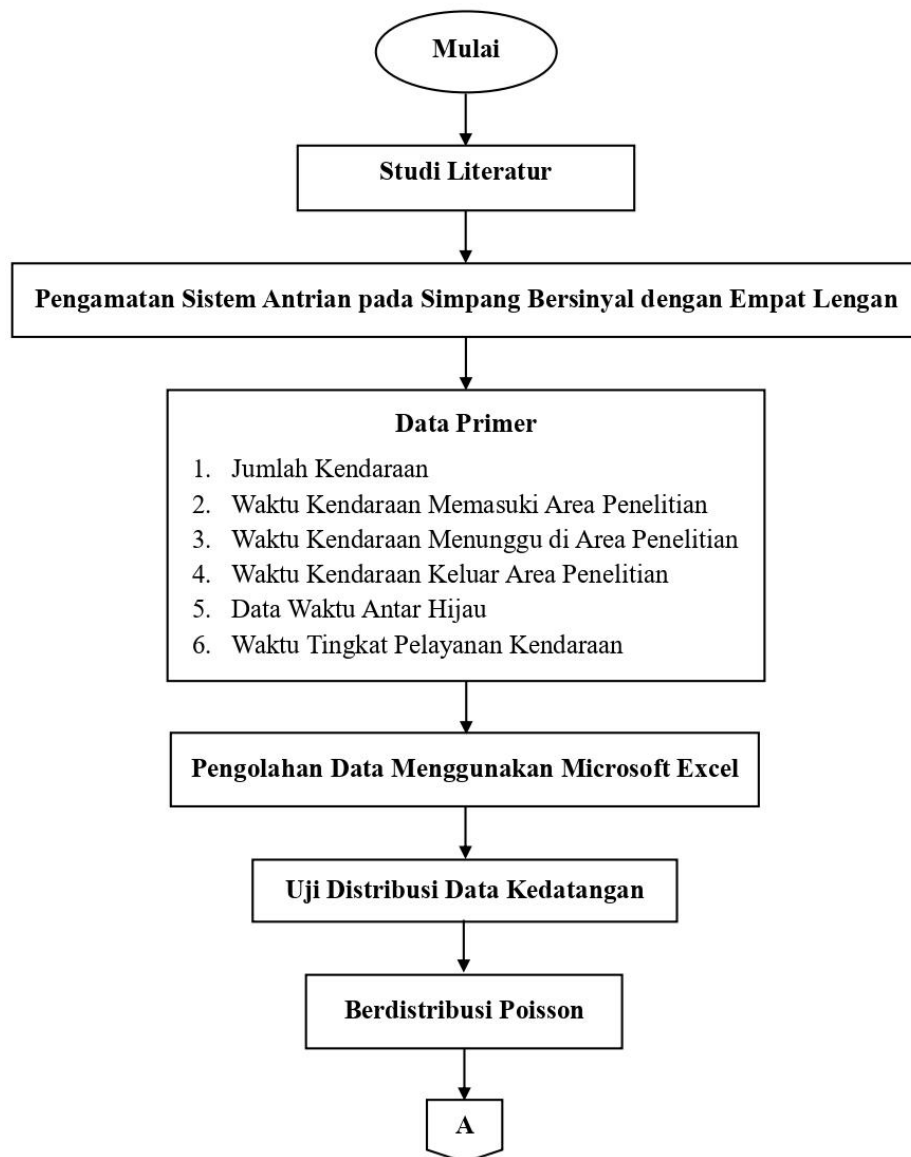
Kriteria uji adalah

$$X^2 = \sum \frac{(\mu_{\text{harapan}} - \mathcal{U}_{\text{harapan}})^2}{\mathcal{U}_{\text{harapan}}}$$

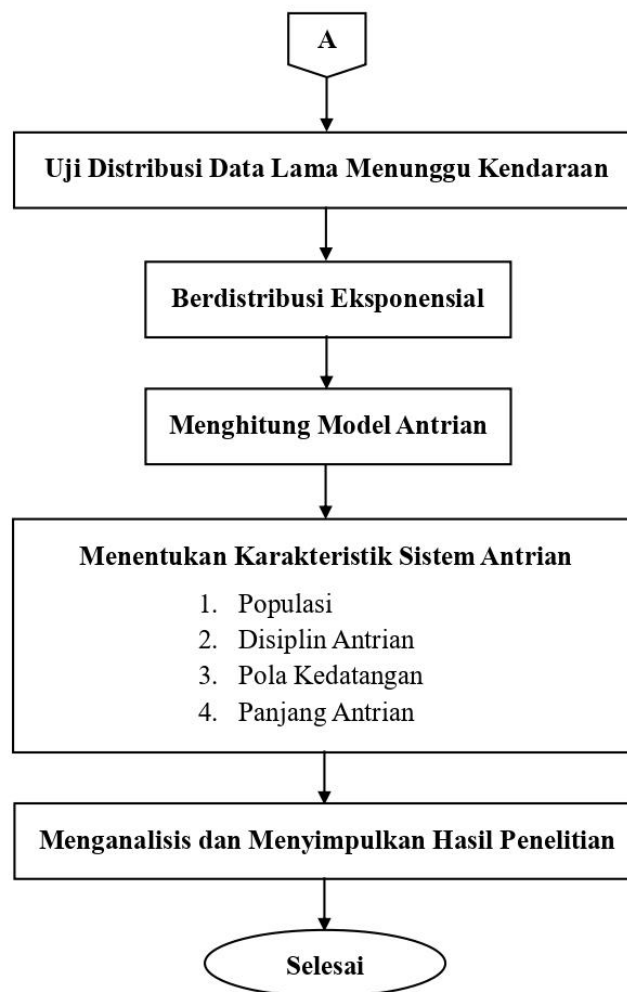
Dengan X^2 menyatakan Chi Kuadrat

III. METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Diagram Alir Penelitian



Gambar 3.1. Diagram alir penelitian.



Gambar 3.2. Lanjutan diagram alir penelitian.

3.2 Lokasi dan Waktu Penelitian

Pengumpulan data dilakukan selama satu hari pada hari kerja. Survei pendahuluan dilaksanakan untuk mengukur lebar jalan dan mencatat durasi waktu lampu lalu lintas di setiap lengan persimpangan. Pengamatan dilakukan pada jam-jam sibuk (*peak hours*), yaitu saat terjadi peningkatan volume kendaraan yang melintasi persimpangan tersebut. Jam sibuk ini mencakup pagi hari, ketika masyarakat berangkat dari rumah menuju ke tempat kerja atau melakukan aktivitas lainnya, serta pada sore hari ketika mereka kembali pulang ke rumah, yaitu pada waktu:

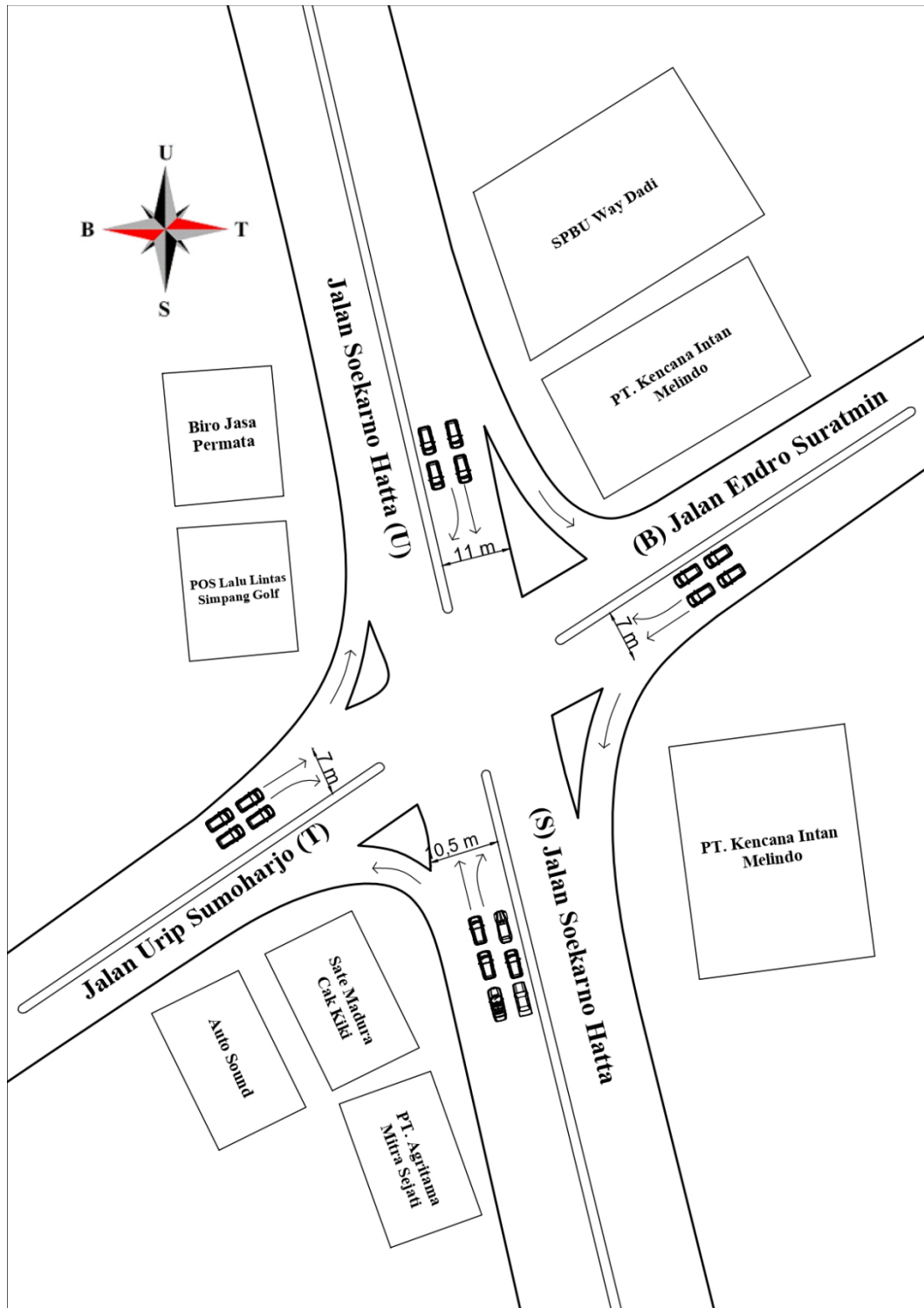
Pagi = 06.30 – 08.00 WIB, mewakili jam berangkat kerja.

Sore = 16.00 – 17.30 WIB, mewakili jam pulang kerja.

Lokasi yang dipilih untuk melakukan penelitian ini adalah pada simpang bersinyal dengan empat lengan di Jalan Urip Sumoharjo – Jalan Soekarno Hatta – Jalan Endro Suratmin, Kelurahan Way Dadi, Kecamatan Sukarama, Kota Bandar Lampung. Pemilihan lokasi penelitian didasarkan karena sering terjadinya kemacetan pada titik persimpangan tersebut.



Gambar 3.3. Lokasi penelitian (*Sumber: Google Earth*).



Gambar 3.4. Sketsa lokasi penelitian.

3.3 Metode Pengumpulan Data

Penelitian ini memerlukan data primer yang diperoleh melalui survei dan observasi secara langsung di lapangan. Data dikumpulkan dengan cara merekam dan mencatat data yang relevan dengan kebutuhan penelitian. Selain data primer, peralatan juga dibutuhkan saat pelaksanaan survei di lapangan.

3.3.1 Peralatan Penelitian

Peralatan yang digunakan pada penelitian ini untuk mendapatkan data di lapangan adalah sebagai berikut:

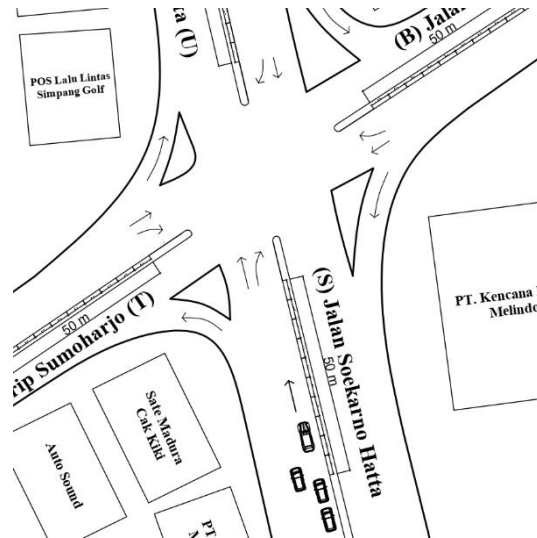
1. Alat tulis dan formulir survei, untuk mencatat geometri ruas jalan.
2. *Stopwatch*, untuk menghitung waktu periode sinyal dan waktu tempuh.
3. *Drone camera*, untuk merekam aktivitas lalu lintas yang terjadi di titik pengamatan serta menghitung kendaraan yang melintas.
4. Meteran *roll*, untuk mengukur geometri ruas jalan.
5. *Pylox*, untuk memberikan tanda batas sistem layanan serta jarak interval setiap 5 meter hingga 50 meter.

3.3.2 Data Primer

Penelitian ini menggunakan data primer, yang berarti data yang diperoleh langsung melalui proses pengamatan atau observasi (Sugiyono, 2007). Data primer tersebut dikumpulkan melalui survei lapangan dengan bantuan drone. Berikut adalah beberapa jenis data yang diperoleh dari rekaman video drone:

1. Jumlah Kendaraan Masuk

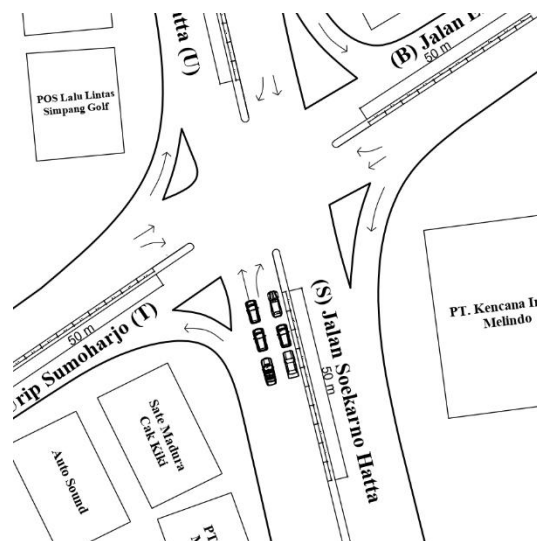
Pencatatan dilakukan setiap kali kendaraan memasuki area pelayanan di Jalan Urip Sumoharjo – Jalan Soekarno Hatta – Jalan Endro Suratmin, untuk aktivitas kendaraan yang melewati simpang (lurus dan belok kanan).



Gambar 3.5. Sketsa kendaraan yang masuk ke area pelayanan.

2. Waktu Kendaraan Memasuki Area Penelitian

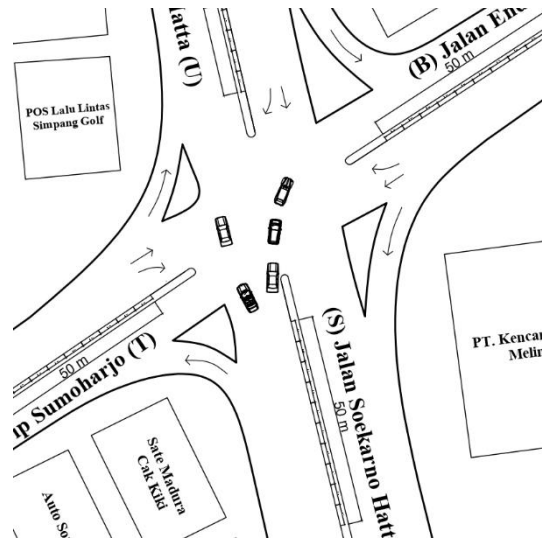
Pencatatan dilakukan pada saat kedatangan setiap kendaraan yang memasuki area pengamatan di Jalan Urip Sumoharjo – Jalan Soekarno Hatta – Jalan Endro Suratmin.



Gambar 3.6. Sketsa kendaraan menunggu di area pelayanan.

3. Waktu Kendaraan Menunggu di Area Penelitian

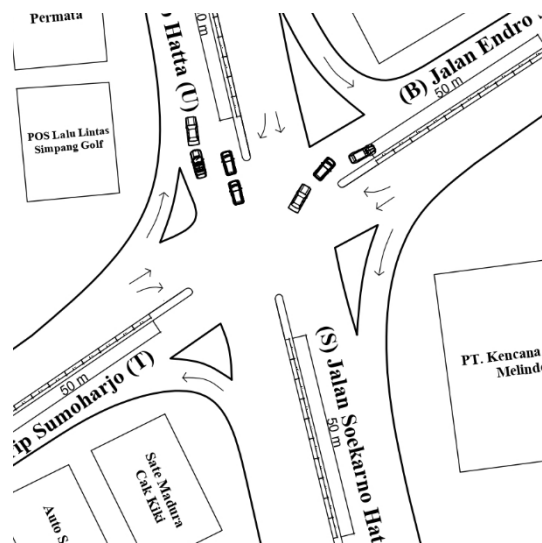
Pencatatan dilakukan untuk mengukur durasi setiap kendaraan yang menunggu di area pengamatan pada setiap lengan simpang.



Gambar 3.7. Sketsa kendaraan di area penelitian.

4. Waktu Kendaraan Keluar Area Penelitian

Pencatatan dilakukan untuk mencatat waktu saat kendaraan keluar dari area pelayanan setelah selesai melakukan aktivitas lalu lalang di area pelayanan pada setiap lengan simpang bersinyal.



Gambar 3.8. Sketsa kendaraan keluar dari area penelitian.

3.4 Analisis Data

Pengolahan data dilakukan menggunakan program *Microsoft Excel*. Setelah diperoleh data waktu masuk kendaraan dan waktu kendaraan menunggu di area penelitian, langkah selanjutnya yang dilakukan adalah sebagai berikut:

1. Volume kendaraan yang dihitung adalah volume kendaraan yang melewati Jalan Urip Sumoharjo – Jalan Soekarno Hatta – Jalan Endro Suratmin. Data dikumpulkan dengan mencatat jumlah kendaraan yang melewati titik pengamatan dalam interval waktu setiap 5 (lima) menit selama 1,5 jam. Setelah data kendaraan terkumpul, data tersebut dikelompokkan sesuai dengan klasifikasi:
 - Sepeda Motor (SM)
Kendaraan bermotor roda 2 (dua) dan 3 (tiga) dengan panjang $< 2,5$ m. Contoh: Sepeda motor dan kendaraan bermotor roda 3 (tiga).
 - Mobil Penumpang (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. Contoh: Sedan, jeep, minibus, mikrobus, *pickup*, truk kecil.
 - Kendaraan Sedang (KS)
Bus sedang dan mobil angkutan barang 2 (dua) sumbu dengan panjang $\leq 9,0$ m. Contoh: Bus tanggung, bus metromini, truk sedang.
 - Bus Besar (BB)
Bus besar 2 (dua) dan 3 (tiga) gandar dengan panjang $\leq 12,0$ m. Contoh: Bus antar kota, bus *double decker city tour*.
 - Truk Besar (TB)
Mobil angkutan barang 3 (tiga) sumbu, truk gandeng, dan truk tempel (*semitrailer*) dengan panjang $> 12,0$ m. Contoh: Truk tronton, truk semi *trailer*, truk gandeng.
2. Data waktu kedatangan kendaraan yang diperoleh dari rekaman video kamera drone diuji menggunakan uji Chi Kuadrat untuk memeriksa apakah distribusinya mengikuti distribusi Poisson.

3. Data waktu lama kendaraan menunggu di area penelitian yang diperoleh dari rekaman video kamera drone diuji menggunakan uji Chi Kuadrat untuk memverifikasi apakah distribusinya mengikuti distribusi Eksponensial.

Analisis antrian dilakukan dengan metode statistik untuk mengoptimalkan sistem pelayanan. Tujuan dari analisis ini adalah untuk meminimalkan waktu tunggu dan meningkatkan efisiensi layanan. Beberapa karakteristik operasional yang akan dianalisis dalam penelitian ini antara lain:

1. Jumlah dalam Sistem

Rata-rata jumlah kendaraan yang berada di dalam sistem.

2. Waktu dalam Sistem

Rata-rata waktu kendaraan berada di dalam sistem, mulai dari kedatangan hingga keluar.

3. Jumlah dalam Antrian

Rata-rata jumlah kendaraan yang menunggu untuk dilayani.

4. Data Waktu Sinyal

Memperoleh informasi mengenai waktu hijau, waktu antar hijau, dan waktu kuning pada setiap lengan simpang. Selain itu, data yang dikumpulkan mencakup arah pergerakan fase dalam satu siklus serta informasi lain yang berkaitan dengan penelitian.

5. Waktu Antrian

Rata-rata waktu yang dihabiskan kendaraan dalam antrian sebelum dilayani.

V. KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisis data dan pembahasan yang telah dilakukan pada simpang bersinyal empat lengan di Jalan Urip Sumoharjo – Jalan Soekarno Hatta – Jalan Endro Suratmin, diperoleh beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Waktu Pelayanan

Waktu siklus total pada simpang ini adalah 150 detik dengan pembagian empat fase, di mana waktu antar hijau (*intergreen*) sebesar 5 detik/fase sudah sesuai dengan ketentuan PKJI 2023 Tabel 5-1 untuk lebar jalan 10–15 meter. Meskipun waktu siklus melebihi batas ideal (80–130 detik), penyesuaian ini diperlukan karena tingginya volume kendaraan berat seperti truk dan bus besar yang melintasi simpang dari arah utara dan selatan. Pengaturan ini terbukti mampu menjaga kelancaran arus dan mengurangi konflik pergerakan antar fase.

2. Panjang Antrian

Berdasarkan hasil perhitungan dan pengamatan, antrian terpanjang terjadi pada Lengan Utara pada periode pagi hari dengan rata-rata waktu antrian 47,02 detik/kendaraan, sedangkan pada sore hari berpindah ke Lengan Selatan dengan rata-rata waktu antrian 49,96 detik/kendaraan. Pergeseran ini disebabkan oleh perbedaan pola pergerakan masyarakat: pagi hari didominasi pergerakan menuju pusat kota (arah utara dan timur), sedangkan sore hari didominasi arus balik menuju kawasan perumahan (arah selatan). Lengan Barat memiliki antrian terpendek baik pagi maupun sore hari, menandakan arus lalu lintasnya relatif lancar.

3. Kapasitas Antrian

Dengan ruang antrian sepanjang 50 meter dari garis henti, kapasitas penyimpanan kendaraan berkisar antara 51–67 kendaraan tergantung pada waktu dan arah pendekat. Volume kendaraan tertinggi terjadi pada pukul 07.00–08.00 WIB (10.523 kend/jam) dan pukul 16.00–17.00 WIB (10.569 kend/jam). Secara keseluruhan, sistem antrian pada simpang ini masih berada dalam kondisi layak dan terkendali, dengan tingkat penggunaan fasilitas (ρ) di bawah 1, yang menunjukkan bahwa kapasitas pelayanan masih mampu menampung arus lalu lintas eksisting.

5.2 Saran

Berdasarkan hasil penelitian dan analisis yang telah dilakukan, maka saran yang dapat diberikan adalah sebagai berikut:

1. Disarankan pada simpang bersinyal untuk dibangun *flyover* yang membentangi arus jalan yang memiliki volume kendaraan paling tinggi. Pembangunan *flyover* diharapkan dapat memisahkan arus kendaraan utama dari persimpangan sehingga kendaraan tidak perlu berhenti di lampu merah. Dengan adanya *flyover* ini, panjang antrean di simpang lengan empat dapat berkurang secara signifikan, terutama pada saat jam-jam puncak.
2. Penelitian selanjutnya diharapkan dapat mengintegrasikan analisis tundaan, derajat kejenuhan, dan perilaku pengemudi untuk mendapatkan model antrian yang lebih komprehensif dan mendekati kondisi nyata, terutama pada jam sibuk atau saat terjadi gangguan lalu lintas.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] A. A. N. A. J. Wikrama, “Analisis Kinerja Simpang Bersinyal (Studi Kasus Jalan Teuku Umar Barat – Jalan Gunung Salak),” *J. Ilm. Tek. Sipil*, vol. 15, no. 1, pp. 1–14, 2011.
- [2] T. Pipit Mulyah, Dyah Aminatun, Sukma Septian Nasution, Tommy Hastomo, Setiana Sri Wahyuni Sitepu, “濟無” *J. GEEJ*, vol. 7, no. 2, pp. 5–23, 2020.
- [3] N. Mufidah, “Pemodelan Antrian Kendaraan Bermotor Menggunakan Model Antrian M/M/1 di Simpang Tiga Ringroad Utara Yogyakarta pada Pagi Hari dan Sore Hari,” *Progr. Stud. Stat. Fak. MIPA Univ. Islam Indones.*, p. 83, 2018.
- [4] N. Q. A’yun and Y. P. Astuti, “Penerapan Teori Antrian Pada Persimpangan Jalan Dengan Traffic Light yang Meminimalkan Waktu Tunggu Antar Fase,” *J. Ilm. Mat.*, vol. 7, no. 3, pp. 242–247, 2019.
- [5] K. Fazahudiya and M. Z. Irawan, “Evaluasi Panjang Antrian Simpang Bersinyal Berdasarkan Pedoman Kapasitas Jalan Indonesia (PKJI) 2023,” no. Pkji 2014, pp. 1–6, 2024.
- [6] B. A. B. Vi, “ $\lambda = 1,08$. Tundaan (T) = 19,27792 det/skr dan peluang antrian (P),” vol. 2, no. 2005, pp. 68–95, 2016.
- [7] Bina Marga Direktorat Jendral, “Panduan Kapasitas Jalan Indonesia 2014,” *Pandu. Kapasitas Jalan Indones.*, p. 68, 2023.
- [8] R. Jerry Okechukwu Ekeocha and V. Ikechi Ihebom, “The Use of Queuing Theory in the Management of Traffic Intensity,” *Int. J. Sci.*, vol. 4, no. 03, pp. 56–63, 2018, doi: 10.18483/ijsci.1583.
- [9] M. Ary, “Analisis Model Sistem Antrian Pada Pelayanan Administrasi,” *J. Tekno Insentif*, vol. 13, no. 1, pp. 9–15, 2019, doi: 10.36787/jti.v13i1.102.
- [10] D. Gangodkar, “ScienceDirect Analysis on Advancements in Adaptive Traffic Lights System,” *Procedia Comput. Sci.*, vol. 258, pp. 2767–2776, 2025, doi: 10.1016/j.procs.2025.04.537.
- [11] taufiqurrachman, “9_5960_Tkt101_052018_Pdf,” *Pengantar Tek. Ind.*, vol. 9, no. 2, pp. 1–15, 2003.
- [12] A. Robi Padri, A. Asro, and I. Indra, “Classification of Traffic Congestion in Indonesia Using the Naive Bayes Classification Method,” *J. World Sci.*, vol. 2, no. 6, pp. 877–888, 2023, doi: 10.58344/jws.v2i6.285.
- [13] S. Sugito and A. Hoyyi, “Proses Antrian Dengan Kedatangan Berdistribusi Poisson Dan Pola Pelayanan Berdistribusi General,” *Media Stat.*, vol. 6, no. 1, pp. 51–60, 2013, doi: 10.14710/medstat.6.1.51-60.
- [14] E. Harahap, D. Darmawan, Y. Fajar, R. Ceha, and A. Rachmiatie, “Modeling and simulation of queue waiting time at traffic light intersection,” *J. Phys.*

- Conf. Ser.*, vol. 1188, no. 1, 2019, doi: 10.1088/1742-6596/1188/1/012001.
- [15] S. Putri, "Analisis Simpang Bersinyal Setelah Perubahan Geometrik Jalan Pada Perempatan Mirota Kampus Ugm," no. 2000, pp. 6–13, 2019.
 - [16] S. Jatmika and I. Andiko, "Simulasi Pengaturan Lampu Lalu Lintas Berdasarkan Data Image Processing Kepadatan Kendaraan Berbasis Mikrokontroler ATMEGA16," *J. Ilm. Teknol. Inf. Asia*, vol. 8, no. 2, 2014.
 - [17] S. Zulkipli, "Pengaruh Volume Lalu Lintas Terhadap Tingkat Kebisingan Pada Jalan Bung Tomo Samarinda," vol. 1, no. 1, pp. 93–98, 2015.
 - [18] A. T. Arrang and P. R. Rangan, "Arus Lalu Lintas, Kapasitas Dan Tingkat Pelayanan Ruas Jalan Dalam Kota Rantepao," *J. Dyn. Saint*, vol. 5, no. 1, pp. 874–883, 2020, doi: 10.47178/dynamicsaint.v5i1.955.
 - [19] N. Kühnel, T. Thunig, and K. Nagel, "Implementing an adaptive traffic signal control algorithm in an agent-based transport simulation," *Procedia Comput. Sci.*, vol. 130, pp. 894–899, 2018, doi: 10.1016/j.procs.2018.04.086.
 - [20] Muntazar, M. Isya, and Sugiarto, "Model Arus Jenuh Dasar Pada Simpang Bersinyal (Studi Kasus pada Simpang dengan Lengan Efektif Satu dan Dua Lajur di Banda Aceh)," *J. Tek. Sipil Univ. Syiah Kuala*, vol. 1, no. 1, pp. 157–166, 2017.
 - [21] I. P. Y. EKA PUTRA, I. P. E. NILA KENCANA, and I. G. A. M. SRINADI, "PENERAPAN REGRESI GENERALIZED POISSON UNTUK MENGATASI FENOMENA OVERDISPERSI PADA KASUS REGRESI POISSON," *E-Jurnal Mat.*, vol. 2, no. 2, 2013, doi: 10.24843/mtk.2013.v02.i02.p038.
 - [22] N. N. Alyarahma, M. R. Alfaris, and S. N. Adilah, "Prediksi Frekuensi Probabilitas Curah Hujan di Jambi Menggunakan Rantai Markov serta Modul Tree Forecasting Berbantuan Software Qm-V5," *J. Stat. Univ. Jambi*, vol. 1, no. 2, pp. 82–92, 2022.
 - [23] M. Boon, G. Janssen, J. van Leeuwen, and R. Timmerman, "Optimal capacity allocation for heavy-traffic fixed-cycle traffic-light queues and intersections," *Transp. Res. Part B Methodol.*, vol. 167, no. 2023, pp. 79–98, 2023, doi: 10.1016/j.trb.2022.11.010.
 - [24] M. A. Phadnis, "Sample size calculation for small sample single-arm trials for time-to-event data: Logrank test with normal approximation or test statistic based on exact chi-square distribution?," *Contemp. Clin. Trials Commun.*, vol. 15, no. February, p. 100360, 2019, doi: 10.1016/j.conctc.2019.100360.
 - [25] M. Hosseinpour, A. S. Yahaya, S. M. Ghadiri, and J. Prasetyo, "Application of Adaptive Neuro-fuzzy Inference System for road accident prediction," *KSCE J. Civ. Eng.*, vol. 17, no. 7, pp. 1761–1772, 2013, doi: 10.1007/s12205-013-0036-3.