

**OPTIMASI PENGATURAN LAMPU LALU LINTAS PADA SIMPANG
EMPAT JALAN URIP SUMOHARJO–JALAN ARIF RAHMAN
HAKIM MENGGUNAKAN PENDEKATAN GRAF
KOMPATIBEL DAN METODE WEBSTER**

Skripsi

Oleh

**NAJIYATUL AZKIYA
NPM. 2217031032**



**FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG**

2026

ABSTRACT

OPTIMIZATION OF TRAFFIC LIGHT SETTINGS AT THE INTERSECTION OF URIP SUMOHARJO STREET– ARIF RAHMAN HAKIM STREET USING A COMPATIBLE GRAPH APPROACH AND THE WEBSTER METHOD

By

Najiyatul Azkiya

Traffic light control at signalized intersections is modeled using compatible graphs to represent traffic flows that can move simultaneously without conflict. Furthermore, the Webster method is used to determine the optimal cycle time and green time allocation based on vehicle volume, saturated flow, and lost time. Research data was obtained through field surveys in the form of intersection geometry data, traffic volume, and existing signal times. The results of the study show the formation of three signal phases with an optimal cycle time of 211 seconds and a more proportional green time distribution, so that the optimized signal configuration has the potential to improve intersection performance.

Keywords: compatible graph, Webster method, traffic optimization.

ABSTRAK

OPTIMASI PENGATURAN LAMPU LALU LINTAS PADA SIMPANG EMPAT JALAN URIP SUMOHARJO–JALAN ARIF RAHMAN HAKIM MENGGUNAKAN PENDEKATAN GRAF KOMPATIBEL DAN METODE WEBSTER

Oleh

Najiyatul Azkiya

Pengaturan lampu lalu lintas pada persimpangan bersinyal dimodelkan menggunakan graf kompatibel untuk merepresentasikan arus lalu lintas yang dapat bergerak bersamaan tanpa konflik. Selanjutnya, metode Webster digunakan untuk menentukan waktu siklus optimal dan pembagian waktu hijau berdasarkan volume kendaraan, arus jenuh, dan waktu hilang. Data penelitian diperoleh melalui survei lapangan berupa data geometri persimpangan, volume lalu lintas, dan waktu sinyal eksisting. Hasil penelitian menunjukkan terbentuknya tiga fase sinyal dengan waktu siklus optimal sebesar 211 detik dan pembagian waktu hijau yang lebih proporsional, sehingga pengaturan sinyal hasil optimasi berpotensi meningkatkan kinerja persimpangan.

Kata-kata kunci: graf kompatibel, metode Webster, optimasi lalu lintas.

**OPTIMASI PENGATURAN LAMPU LALU LINTAS PADA SIMPANG
EMPAT JALAN URIP SUMOHARJO–JALAN ARIF RAHMAN
HAKIM MENGGUNAKAN PENDEKATAN GRAF
KOMPATIBEL DAN METODE WEBSTER**

NAJIYATUL AZKIYA

Skripsi

Sebagai Salah Satu Syarat untuk Memperoleh Gelar
SARJANA MATEMATIKA

Pada

Jurusan Matematika

Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam



**FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG**

2026

Judul Skripsi

**OPTIMASI PENGATURAN LAMPU
LALU LINTAS PADA SIMPANG EMPAT
JALAN URIP SUMOHARJO-JALAN ARIF
RAHMAN HAKIM MENGGUNAKAN
PENDEKATAN GRAF KOMPATIBEL DAN
METODE WEBSTER**

Nama Mahasiswa

Najiyatul Azkiya

Nomor Pokok Mahasiswa

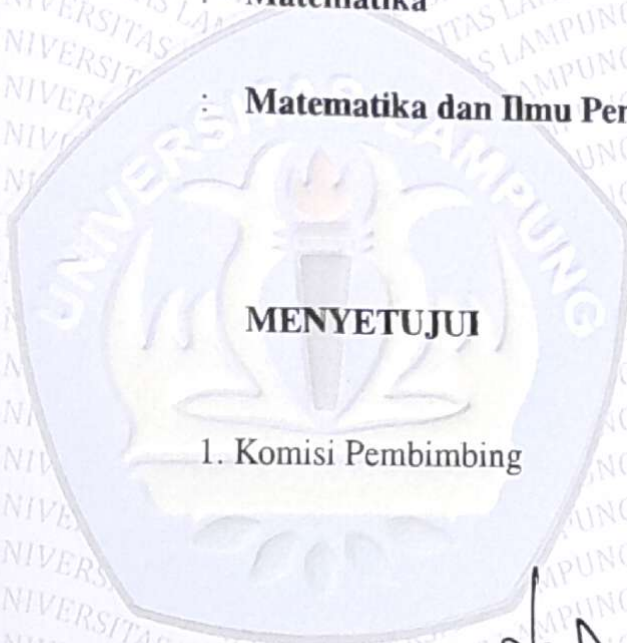
2217031032

Program Studi

Matematika

Fakultas

Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam



MENYETUJUI

1. Komisi Pembimbing

Dorra

Dra. Dorrah Azis, M.Si.

NIP 196101281988112001

Misgiyati

Misgiyati, S.Pd., M.Si.

NIP 198509282023212032

2. Ketua Jurusan Matematika

Dr. Aang Nuryaman

Dr. Aang Nuryaman, S.Si., M.Si.

NIP. 197403162005011001

MENGESAHKAN

1. Tim Penguji

Ketua

Dra. Dorrah Azis, M.Si.

Dorrah

Sekretaris

Misgiyati, S.Pd., M.Si.

Misgiyati

Penguji

Bukan Pembimbing : **Drs. Tiryono, M.Sc., Ph.D.**

Tiryono

2. Dekan Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam



Dr. Eng. Heri Satria, S.Si., M.Si.

NIP. 197110012005011002

Tanggal Lulus Ujian Skripsi: 30 Januari 2026

PERNYATAAN SKRIPSI MAHASISWA

Yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : **Najiyatul Azkiya**
Nomor Pokok Mahasiswa : **2217031032**
Jurusan : **Matematika**
Judul Skripsi : **Optimasi Pengaturan Lampu Lalu Lintas pada Simpang Empat Jalan Urip Sumoharjo–Jalan Arif Rahman Hakim Menggunakan Pendekatan Graf Kompatibel dan Metode Webster**

Dengan ini menyatakan bahwa skripsi ini adalah hasil pekerjaan saya sendiri. Apabila kemudian hari terbukti bahwa skripsi ini merupakan hasil salinan atau dibuat oleh orang lain, maka saya bersedia menerima sanksi sesuai dengan ketentuan akademik yang berlaku.

Bandar Lampung, 30 Januari 2026

Penulis,



Najiyatul Azkiya

RIWAYAT HIDUP

Penulis memiliki nama lengkap Najiyatul Azkiya yang lahir di Sukadana pada tanggal 27 September 2004. Penulis merupakan anak ketiga dari tiga bersaudara.

Penulis memulai pendidikan formal di TK-SD Satu Atap pada tahun 2009 dan menyelesaikannya pada tahun 2010. Kemudian, penulis melanjutkan pendidikan di SD Negeri 5 Sukadana Pasar pada tahun 2010 sampai dengan 2016. Selanjutnya, penulis melanjutkan pendidikan di SMP Negeri 1 Sukadana pada tahun 2016 sampai dengan tahun 2019, dan menyelesaikan pendidikan di SMA Negeri 1 Sukadana pada tahun 2022.

Pada tahun 2022, penulis diterima di program studi S1 Matematika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam (FMIPA), Universitas Lampung melalui jalur Seleksi Nasional Masuk Perguruan Tinggi Negeri (SNMPTN). Pada awal tahun 2025 sebagai bentuk pengabdian kepada masyarakat, penulis melaksanakan Kuliah Kerja Nyata (KKN) selama 40 hari di Desa Ketapang, Kecamatan Ketapang, Kabupaten Lampung Selatan sampai dengan Februari 2025. Selain itu, pada pertengahan tahun 2025 penulis juga melaksanakan Kerja Praktik (KP) di PT Taspen (Persero) KC Bandar Lampung selama 40 hari sampai dengan Agustus 2025.

Selama masa studi, penulis menunjukkan ketekunan, kedisiplinan, dan dedikasi dalam menyelesaikan berbagai tugas akademik maupun kegiatan pendukung lainnya.

KATA INSPIRASI

"Sesungguhnya bersama kesulitan ada kemudahan."

(QS. Al-Insyirah: 6)

"It's fine to fake it until you make it, until you do, until it's true."

(Snow On The Beach–Taylor Swift)

"Pada akhirnya, ini semua hanyalah permulaan."

(Beranjak Dewasa–Nadin Amizah)

"Just live your life."

PERSEMBAHAN

Alhadulillahi robbil'alamin

Dengan mengucapkan puji dan syukur atas kehadiran Allah Subhanahu Wata'ala karena limpahan rahmat dan karunia-Nya sehingga skripsi ini dapat terselesaikan dengan baik dan tepat pada waktunya.

Tak lupa shalawat beserta salam selalu tercurah kepada junjungan kita Nabi Muhammad Shallallahu Alaihi Wasallam.

Dengan rasa syukur dan Bahagia, saya persembahkan rasa terima kasih saya kepada:

Ayah dan Ibu Tercinta

Terima kasih kepada orang tuaku atas segala pengorbanan, motivasi, doa dan ridho serta dukungannya selama ini. Terima kasih telah memberikan pelajaran berharga kepada anakmu ini tentang makna perjalanan hidup yang sebenarnya sehingga kelak bisa menjadi orang yang bermanfaat bagi banyak orang.

Dosen Pembimbing dan Pembahas

Terima kasih kepada dosen pembimbing dan pembahas yang sudah sangat membantu, memberikan motivasi, memberikan arahan serta ilmu yang berharga.

Sahabat-sahabatku

Terima kasih kepada semua orang-orang baik yang telah memberikan pengalaman, semangat, motivasinya, serta doa-doanya dan senantiasa memberikan dukungan dalam hal apapun.

Almamater Tercinta

Universitas Lampung

SANWACANA

Alhamdulillah, puji dan syukur penulis panjatkan kepada Allah SWT atas limpahan rahmat dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini yang berjudul "Optimasi Pengaturan Lampu Lalu Lintas pada Simpang Empat Jalan Urip Sumoharjo–Jalan Arif Rahman Hakim Menggunakan Pendekatan Graf Kompatibel dan Metode Webster" dengan baik dan lancar serta tepat pada waktu yang telah ditentukan. Shalawat serta salam semoga senantiasa tercurahkan kepada Nabi Muhammad SAW.

Dalam proses penyusunan skripsi ini, banyak pihak yang telah membantu memberikan bimbingan, dukungan, arahan, motivasi serta saran sehingga skripsi ini dapat terselesaikan. Oleh karena itu, dalam kesempatan ini penulis mengucapkan terima kasih kepada:

1. Ibu Dra. Dorrah Azis, M.Si. selaku Pembimbing 1 yang telah banyak meluangkan waktunya untuk memberikan arahan, bimbingan, motivasi, saran serta dukungan kepada penulis sepanjang proses penyusunan skripsi ini.
2. Ibu Misgiyati, S.Pd., M.Si. selaku Pembimbing 2 yang telah memberikan arahan, dukungan, serta doa sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini.
3. Bapak Tiryono, M.Sc., Ph.D. selaku Penguji yang telah bersedia memberikan saran, kritik, serta evaluasi yang membangun sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini.
4. Bapak Ir. Warsono, M.S., Ph.D. selaku dosen Pembimbing Akademik.
5. Bapak Dr. Aang Nuryaman, S.Si., M.Si. selaku Ketua Jurusan Matematika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Lampung.
6. Seluruh dosen, staff dan karyawan Jurusan Matematika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Lampung.

7. Seluruh guru TK, SD, SMP, dan SMA yang telah mengajarkan dan memberikan ilmu hingga penulis bisa menduduki bangku perkuliahan.
8. Ayah yang telah membesarkan, membimbing, dan mendukung penulis dengan penuh kesabaran serta kasih sayang. Terima kasih atas doa, nasihat, dan semangat yang senantiasa diberikan kepada penulis dalam setiap perjalanan hidup penulis.
9. Ibu yang telah membesarkan dan merawat penulis dengan kesabaran dan kasih sayang yang tak terhingga. Terima kasih atas segala doa, dukungan, dan semangat yang tiada henti diberikan kepada penulis. Terima kasih atas kesabaran dan peran penting Ibu dalam kehidupan penulis.
10. Kakak dan cicik yang selalu memberikan dukungan dan doa sehingga penulis dapat segera menyelesaikan skripsi ini.
11. Abel dan Aliya selaku teman masa kecil penulis. Terima kasih atas kebersamaan, kenangan berharga, tawa, serta telah menjadi tempat berbagi cerita, juga semangat dan dukungan yang diberikan.
12. Bila selaku teman dekat penulis. Terima kasih atas perhatian, semangat, dan kebersamaan dalam merayakan setiap momen yang berarti.
13. Icha, Tyas, Yenecia, dan Ucik yang telah menemani perjalanan penulis sejak masa sekolah dasar hingga masa perkuliahan saat ini. Terima kasih atas kebersamaan, semangat, dukungan, serta berbagai kenangan yang berharga.
14. April, Aprial, Cyntia, Valens, dan Zahra yang telah kebersamai penulis sejak semester tiga. Terima kasih atas segala kenangan yang telah dilalui, serta dukungan dan semangat yang senantiasa diberikan selama proses perkuliahan hingga penyusunan skripsi ini.
15. Valens Alvaro Sidabalok yang telah menemani penulis selama masa pertengahan kuliah hingga penulis menyelesaikan skripsi ini. Terima kasih atas semangat, dukungan, motivasi, doa, dan kasih sayang yang senantiasa diberikan. Terima kasih telah hadir di kehidupan penulis serta turut mewarnai perjalanan hidup penulis.
16. Penulis juga mengucapkan terima kasih kepada EXO, Niki Zefanya, dan Nadin Amizah yang melalui karya dan musiknya telah memberikan semangat serta hiburan bagi penulis selama masa perkuliahan.

17. Terakhir, kepada diri sendiri, terima kasih atas usaha dan ketekunan selama proses penyusunan skripsi ini. Terima kasih karena tetap bertahan hingga seluruh proses dapat diselesaikan.

Semoga skripsi ini dapat bermanfaat bagi kita semua. Penulis menyadari bahwa skripsi ini masih jauh dari sempurna, sehingga penulis mengharapkan kritik dan saran yang membangun untuk menjadikan skripsi ini lebih baik lagi.

Bandar Lampung, 30 Januari 2026

Najiyatul Azkiya

DAFTAR ISI

DAFTAR ISI	xiii
DAFTAR GAMBAR	xiv
DAFTAR TABEL	xv
I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang Masalah	1
1.2 Tujuan Penelitian	2
1.3 Manfaat Penelitian	2
II TINJAUAN PUSTAKA	3
2.1 Gambaran Umum Lalu Lintas dan Persimpangan	3
2.1.1 Pengertian Lalu Lintas	3
2.1.2 Persimpangan Jalan	3
2.1.3 Jenis-Jenis Persimpangan	4
2.1.4 Karakteristik Pergerakan Lalu Lintas pada Persimpangan	5
2.1.5 Dasar Operasional Sinyal Lalu Lintas	6
2.1.6 Karakteristik Volume Lalu Lintas	7
2.2 Konsep Dasar Teori Graf	7
2.2.1 Definisi Graf	7
2.2.2 Graf Sederhana	8
2.2.3 Graf Berarah	8
2.2.4 Graf berbobot	9
2.3 Hubungan Graf pada Arus Kompatibilitas	9
2.4 Metode Webster	10
2.4.1 Arus Jenuh (s)	11
2.4.2 Waktu Hilang (L)	12
2.4.3 Waktu Siklus Optimal (C_0)	12
2.4.4 Waktu Menyala Lampu Hijau Efektif	13
2.4.5 Waktu Menyala Lampu Merah Efektif	13
III METODE PENELITIAN	15
3.1 Waktu dan Tempat Penelitian	15

3.2	Data Penelitian	15
3.3	Tahap Penelitian	16
IV	HASIL DAN PEMBAHASAN	18
4.1	Data Geometri Persimpangan	18
4.2	Data Volume Lalu Lintas	19
4.3	Konversi Volume ke Satuan Mobil Penumpang (SMP)	19
4.4	Pemodelan Arus dengan Graf Kompatibel	22
4.5	Pengoptimalan Waktu Siklus dengan Metode Webster	27
4.6	Hasil dan Analisis Perbandingan Waktu Sinyal	29
V	KESIMPULAN DAN SARAN	31
5.1	Kesimpulan	31
5.2	Saran	32
	DAFTAR PUSTAKA	33
	LAMPIRAN	35

DAFTAR GAMBAR

2.1	Simpang sebidang	4
2.2	Simpang tidak sebidang	4
2.3	Simpang empat	5
2.4	Simpang bercabang	5
2.5	Graf sederhana	8
2.6	Graf berarah	9
2.7	Graf berbobot	9
2.8	Skema persimpangan kompatibel	10
2.9	Bentuk graf berdasarkan skema	10
3.1	Diagram alir penelitian	17
4.1	Peta persimpangan Jalan Urip Sumoharjo	18
4.2	Skema sistem lalu lintas persimpangan Jalan Urip Sumoharjo	22
4.3	Graf kompatibel pada simpang	25
4.4	Graf kompatibel yang disederhanakan	25
4.5	Graf berarah berbobot	26

DAFTAR TABEL

2.1	Konversi kendaraan terhadap satuan mobil penumpang (smp)	7
2.2	Arus jenuh untuk lebar pendekat < 5.5 m	11
3.1	Kriteria lebar jalan	16
3.2	Kriteria volume kendaraan	16
4.1	Waktu sinyal lampu lalu lintas setiap ruas jalan	19
4.2	Volume lalu lintas pada simpang	19
4.3	Volume lalu lintas Jalan Urip Sumoharjo (Barat)	20
4.4	Volume lalu lintas Jalan Letjen Alamsyah Ratu Prawiranegara . . .	20
4.5	Volume lalu lintas Jalan Urip Sumoharjo (Timur)	21
4.6	Volume lalu lintas Jalan Arif Rahman Hakim	21
4.7	Hubungan kompatibilitas arus lalu lintas pada Simpang	24
4.8	Perbandingan waktu nyala lampu lalu lintas	30

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang Masalah

Kemacetan lalu lintas merupakan permasalahan utama yang dihadapi kota-kota besar di Indonesia, termasuk kota Bandar Lampung. Pertumbuhan jumlah kendaraan menyebabkan peningkatan kepadatan, terutama di persimpangan jalan yang menjadi titik pengendali utama arus lalu lintas (Veronika dan Prayitno, 2018). Salah satu simpang padat di Kota Bandar Lampung adalah persimpangan Jalan Urip Sumoharjo—Jalan Arif Rahman Hakim, yang menghubungkan kawasan permukiman, pusat ekonomi, pendidikan, dan fasilitas kesehatan.

Berdasarkan pengamatan, simpang ini memiliki arus yang cukup rumit dengan volume kendaraan yang tinggi pada jam puncak. Pergerakan belok kanan dan belok kiri yang saling bersilangan, ditambah adanya belok kiri langsung, meningkatkan potensi konflik dan menambah tundaan. Pengaturan lalu lintas yang masih menggunakan Alat Pemberi Isyarat Lalu Lintas (APILL) dengan sistem *fixed-time* membuat pembagian waktu hijau tidak menyesuaikan perubahan volume kendaraan sehingga menimbulkan antrian dan menurunkan efisiensi kinerja simpang.

Permasalahan tersebut dapat diatasi melalui pendekatan optimasi matematis untuk menentukan pengaturan waktu sinyal yang efisien dan sesuai dengan kondisi lalu lintas aktual. Pendekatan graf kompatibel digunakan untuk memetakan arus kendaraan yang dapat bergerak bersamaan tanpa konflik, sedangkan metode Webster berfungsi menghitung waktu siklus dan pembagian hijau optimal berdasarkan volume kendaraan, arus jenuh, dan waktu hilang, sehingga tundaan dapat diminimalkan (Nasya Alifiah dkk., 2023).

Penelitian terdahulu menunjukkan efektivitas kedua metode ini. Fanani (2016) menggunakan graf kompatibel untuk memodelkan fase arus kendaraan di Surabaya dan berhasil mengurangi potensi konflik lalu lintas. Penelitian lain oleh Poernamasari

dkk., (2019) menerapkan metode Webster pada simpang Jalan Babe Palar di Manado memperoleh waktu siklus yang optimum berdasarkan volume kendaraan. Sementara itu, Chairani dkk., (2021) menggabungkan penerapan graf kompatibel dan metode Webster untuk optimasi pengaturan lalu lintas di Medan, dengan hasil menunjukkan penurunan waktu tundaan kendaraan secara signifikan.

Berdasarkan permasalahan tersebut, penelitian ini dilakukan untuk mengoptimalkan pengaturan lampu lalu lintas di persimpangan Jalan Urip Sumoharjo–Jalan Arif Rahman Hakim menggunakan pendekatan graf kompatibel dan metode Webster. Penelitian ini diharapkan menghasilkan rancangan fase dan waktu siklus yang optimal sesuai volume kendaraan dan karakteristik simpang, sehingga dapat mengurangi kemacetan dan meningkatkan kinerja persimpangan.

1.2 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini yaitu:

1. Memodelkan arus lalu lintas pada persimpangan Jalan Urip Sumoharjo–Jalan Arif Rahman Hakim dalam bentuk graf kompatibel berbobot untuk menentukan fase lampu lalu lintas yang bebas konflik dan optimal.
2. Menghitung waktu siklus dan pembagian waktu hijau optimal menggunakan metode Webster berdasarkan volume kendaraan dan karakteristik geometrik persimpangan.

1.3 Manfaat Penelitian

Manfaat yang diharapkan dari penelitian ini adalah:

1. Dapat dijadikan pertimbangan oleh Dinas Perhubungan dalam menentukan waktu lampu lalu lintas yang lebih efisien.
2. Memberikan rancangan fase lampu lalu lintas yang lebih optimal berdasarkan pemodelan arus dengan graf kompatibel berbobot.
3. Menjadi acuan perhitungan waktu siklus yang lebih efisien menggunakan metode Webster sesuai kondisi volume kendaraan.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

Pada bab ini, akan dijelaskan beberapa konsep dasar yang menjadi landasan teori untuk mendukung pembahasan pada bagian selanjutnya.

2.1 Gambaran Umum Lalu Lintas dan Persimpangan

2.1.1 Pengertian Lalu Lintas

Lalu lintas merupakan aktivitas pergerakan kendaraan, manusia, serta hewan di jalan raya, baik secara terpisah maupun bersamaan, yang diatur oleh peraturan perundang-undangan agar tercapai ketertiban, keamanan, dan kelancaran transportasi (Republik Indonesia, 2009). Menurut Prasetyanto (2019), perilaku arus lalu lintas terbentuk dari interaksi tiga unsur utama, yaitu manusia, kendaraan, dan jalan, yang saling memengaruhi dalam menciptakan kondisi lalu lintas.

Lalu lintas memiliki peran penting menunjang aktivitas sosial dan perekonomian masyarakat. Oleh karena itu, sistem pengendalian lalu lintas harus diatur agar dapat mengurangi kemacetan, menurunkan tingkat kecelakaan, serta meningkatkan efisiensi perjalanan (Departemen Perhubungan, 1996). Pengelolaan lalu lintas yang baik berkontribusi pada keteraturan dan kenyamanan pengguna jalan.

2.1.2 Persimpangan Jalan

Persimpangan jalan merupakan titik perpotongan dua atau lebih ruas jalan dan memungkinkan kendaraan berpindah arah atau melanjutkan perjalanan. Persimpangan berperan penting dalam sistem transportasi karena menjadi titik pertemuan arus lalu lintas dari berbagai arah yang perlu diatur agar tidak saling mengganggu (Prasetyanto, 2019).

Dalam penelitian ini, persimpangan dipandang sebagai sistem yang dapat dimodelkan menggunakan graf kompatibel, yaitu representasi matematis untuk menentukan kombinasi arus lalu lintas yang dapat bergerak bersamaan tanpa konflik. Selanjutnya, pengaturan waktu sinyal di persimpangan tersebut dianalisis menggunakan metode Webster untuk memperoleh panjang siklus dan waktu hijau optimal pada setiap fase sehingga total waktu tunggu kendaraan menjadi minimum (Nasya Alifiah dkk., 2023).

2.1.3 Jenis-Jenis Persimpangan

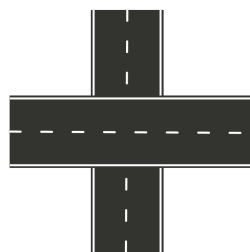
Menurut Prasetyanto (2019), persimpangan dibedakan menjadi empat jenis utama, yaitu:

1. Persimpangan sebidang (*intersection*) merupakan pertemuan antara arus lalu lintas dari arah yang berbeda pada satu bidang jalan yang sama. Pada jenis ini, kendaraan dapat saling berpotongan, bergabung, atau berpisah.



Gambar 2.1 Simpang sebidang

2. Persimpangan tidak sebidang (*interchange*) merupakan persimpangan arus lalu lintas dari arah yang berbeda dipisahkan secara vertikal menggunakan jembatan atau terowongan sehingga tidak saling mengganggu.



Gambar 2.2 Simpang tidak sebidang

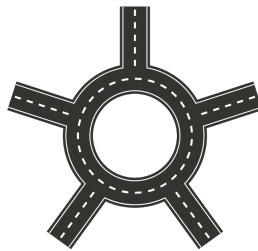
3. Simpang empat merupakan perpotongan dua ruas jalan yang umumnya membentuk sudut tegak lurus dan menghasilkan empat lengan jalan. Jenis

ini paling sering dijumpai di kawasan perkotaan karena menghubungkan dua jalan utama.



Gambar 2.3 Simpang empat

4. Simpang dengan banyak cabang jalan merupakan persimpangan dengan lebih dari empat lengan jalan yang saling bertemu dalam satu titik. Bentuk ini menimbulkan konflik arus yang lebih kompleks dan memerlukan pengaturan khusus agar lalu lintas tetap lancar.



Gambar 2.4 Simpang bercabang

2.1.4 Karakteristik Pergerakan Lalu Lintas pada Persimpangan

Menurut Prasetyanto (2019) pergerakan kendaraan di persimpangan dapat dikategorikan menjadi empat jenis yang berpotensi menimbulkan konflik arus lalu lintas, yaitu:

1. Pemisahan (*diverging*) yaitu ketika kendaraan dari satu arah terbagi ke dua arah yang berbeda.
2. Penggabungan (*merging*) yaitu ketika kendaraan dari dua arah berbeda masuk ke jalur yang sama.
3. Persilangan (*crossing*) yaitu dua arus kendaraan saling berpotongan pada satu titik.

4. Jalinan (*weaving*) yaitu ketika dua arus bergerak sejajar tetapi harus saling bertukar posisi.

2.1.5 Dasar Operasional Sinyal Lalu Lintas

Dalam pengaturan lalu lintas pada simpang bersinyal, diperlukan pemahaman mengenai komponen dasar yang membentuk sistem operasi sinyal. Komponen-komponen ini berfungsi untuk mengatur alur pergerakan kendaraan secara bergantian agar tercapai efisiensi dan keselamatan di persimpangan jalan (Departemen Perhubungan, 1997).

Menurut Manual Kapasitas Jalan Indonesia (MKJI), dasar operasional sinyal lalu lintas terdiri atas beberapa elemen utama, yaitu:

1. Siklus (*cycle*), yaitu satu putaran lengkap dari tampilan sinyal merah–kuning–hijau–merah untuk seluruh fase pada simpang.
2. Panjang siklus (*cycle length*), yaitu total waktu yang dibutuhkan untuk menyelesaikan satu siklus penuh dari seluruh fase sinyal.
3. Fase (*phase*), yaitu bagian dari siklus di mana satu atau lebih arus kendaraan memperoleh lampu hijau secara bersamaan.
4. Waktu hijau efektif (*effective green time*), yaitu durasi waktu hijau yang benar-benar dapat digunakan oleh kendaraan untuk bergerak secara optimal.
5. Waktu antarahijau (*intergreen time*), yaitu waktu jeda antara akhir fase hijau suatu arah dengan awal fase hijau arah berikutnya, terdiri atas waktu kuning dan waktu merah semua untuk menghindari konflik antar kendaraan.
6. Waktu hilang (*lost time*), yaitu waktu yang hilang karena kendaraan belum bergerak di awal hijau atau saat fase hijau berakhir.

Komponen-komponen tersebut menjadi dasar dalam perhitungan kapasitas, penentuan waktu sinyal, serta evaluasi kinerja simpang bersinyal agar dapat berfungsi secara efektif menggunakan metode Webster.

2.1.6 Karakteristik Volume Lalu Lintas

Volume lalu lintas merupakan banyaknya kendaraan yang melintas pada suatu titik pengamatan di suatu ruas jalan atau persimpangan dalam waktu tertentu. Angka ini menunjukkan seberapa padat jalan digunakan dan menjadi dasar untuk menganalisis kapasitas serta kinerja lalu lintas. Besar kecilnya volume dipengaruhi oleh waktu pengamatan, jenis kendaraan, dan kondisi lingkungan jalan. Untuk menyamakan arus dari beragam tipe kendaraan, volume lalu lintas umumnya dinyatakan dalam satuan mobil penumpang (smp) dengan menerapkan nilai ekuivalen mobil penumpang (emp) yang disesuaikan dengan karakteristik masing-masing kendaraan dan jenis pendekatannya. (Departemen Perhubungan, 1997).

Tabel 2.1 Konversi kendaraan terhadap satuan mobil penumpang (smp)

Jenis Kendaraan	(emp) untuk tipe pendekat	
	Terlindung	Terlawan
Kendaraan Berat (HV)	1.3	1.3
Kendaraan Ringan (LV)	1.0	1.0
Sepeda Motor (MC)	0.2	0.4

Volume lalu lintas pada periode jam puncak (*peak hour*) menjadi fokus utama dalam analisis dan perhitungan optimasi sinyal lalu lintas.

2.2 Konsep Dasar Teori Graf

2.2.1 Definisi Graf

Graf didefinisikan sebagai suatu pasangan himpunan $G = (V, E)$, dengan V sebagai himpunan titik atau simpul (*vertex*) dan E sebagai himpunan garis atau sisi (*edge*) yang menghubungkan dua simpul (Munir, 2012). Pada penelitian ini, konsep graf digunakan untuk menggambarkan hubungan antar-arus lalu lintas pada suatu persimpangan sehingga pola pergerakannya dapat dianalisis secara sistematis. Simpul merepresentasikan objek atau entitas, sedangkan sisi menyatakan hubungan atau keterkaitan antar objek tersebut.

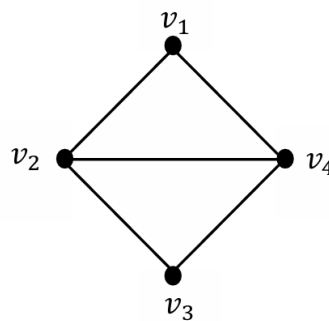
Teori graf digunakan untuk menyederhanakan permasalahan yang kompleks dengan cara memodelkannya ke dalam bentuk struktur yang lebih teratur dan mudah dipahami. Penerapan graf banyak dijumpai dalam berbagai bidang, seperti

transportasi, jaringan komputer, penjadwalan, dan optimasi, karena graf mampu menggambarkan hubungan antar komponen sistem secara visual dan sistematis (Munir, 2012).

Dalam konteks lalu lintas, graf digunakan untuk memodelkan hubungan antar arus kendaraan pada suatu persimpangan. Setiap arus lalu lintas direpresentasikan sebagai simpul, sedangkan sisi menunjukkan hubungan antar arus yang dapat bergerak secara bersamaan tanpa menimbulkan konflik. Dengan pemodelan tersebut, graf membantu dalam menentukan kombinasi arus yang aman untuk dijadikan satu fase sinyal, sehingga mendukung perancangan pengaturan lampu lalu lintas yang lebih efisien dan optimal.

2.2.2 Graf Sederhana

Graf sederhana merupakan graf yang tidak memiliki gelang (*loop*) atau sisi ganda (*parallel*). Dalam graf ini, setiap sisi hanya menghubungkan sepasang simpul yang berbeda, serta tidak terdapat sisi yang menghubungkan suatu simpul dengan dirinya sendiri. Sisi dalam graf sederhana merupakan pasangan tidak berurutan, sehingga sisi $(u, v) = (v, u)$. Graf sederhana $G = (V, E)$ tersusun atas himpunan simpul V yang tidak kosong dan himpunan sisi E yang berupa pasangan tidak berurutan dari simpul-simpul dalam himpunan tersebut.

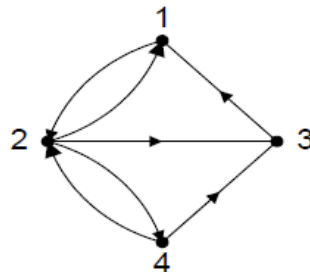


Gambar 2.5 Graf sederhana

2.2.3 Graf Berarah

Graf berarah merupakan jenis graf yang setiap sisinya memiliki suatu arah tertentu, yang dikenal sebagai busur (*arc*). Pada graf berarah, dua busur (u, v) dan (v, u) dipandang sebagai elemen yang berbeda, sehingga berlaku $(u, v) \neq (v, u)$ (Munir,

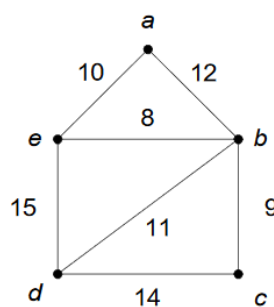
2012). Konsep ini relevan dalam penelitian karena arus lalu lintas bersifat searah, misalnya pergerakan dari satu pendekat menuju pendekat lainnya. Dengan graf berarah, alur pergerakan kendaraan dapat dimodelkan lebih tepat.



Gambar 2.6 Graf berarah

2.2.4 Graf berbobot

Graf berbobot merupakan jenis graf yang setiap sisinya diberi nilai bobot tertentu. Bobot tersebut dapat merepresentasikan berbagai parameter, seperti jarak, waktu tempuh, kapasitas, maupun tingkat kepadatan lalu lintas. Pada penelitian ini, bobot diberikan berdasarkan lebar jalan dan volume kendaraan pada masing-masing arus. Bobot ini membantu memberi gambaran tingkat beban atau kepentingan setiap arus dalam proses penentuan fase sinyal. Pendekatan berbobot juga telah diterapkan pada penelitian optimasi sinyal lalu lintas sebelumnya.

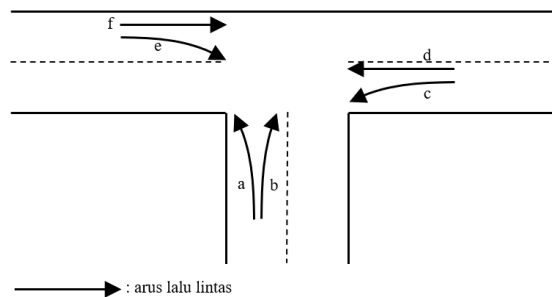


Gambar 2.7 Graf berbobot

2.3 Hubungan Graf pada Arus Kompatibilitas

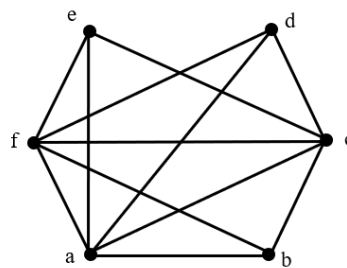
Graf kompatibilitas merupakan model matematis yang digunakan untuk menggambarkan hubungan antar-arus lalu lintas di persimpangan. Setiap arus

direpresentasikan sebagai simpul (*vertex*), sedangkan sisi (*edge*) menunjukkan pasangan arus yang dapat bergerak bersamaan tanpa menimbulkan konflik.



Gambar 2.8 Skema persimpangan kompatibel

Dua arus dikatakan kompatibel apabila keduanya dapat berjalan dengan aman tanpa saling berpotongan atau terjadi konflik. Contohnya dapat dilihat pada skema persimpangan terlihat bahwa arus *a* kompatibel dengan arus *b, c, d, e* dan *f*, sedangkan arus *b* kompatibel dengan arus *a, c*, dan *f*, dan demikian seterusnya. Hubungan antar arus tersebut selanjutnya dimodelkan dalam bentuk graf kompatibilitas, di mana simpul merepresentasikan masing-masing arah arus lalu lintas, sedangkan sisi menunjukkan pasangan arus yang dapat bergerak secara bersamaan (Poernamasari dkk., 2019).



Gambar 2.9 Bentuk graf berdasarkan skema

2.4 Metode Webster

Metode Webster merupakan metode perhitungan waktu sinyal lalu lintas yang dikembangkan oleh F. V. Webster dari *Road Research Laboratory* (RRL) di Inggris. Metode ini digunakan untuk menetapkan waktu siklus optimal dan pembagian waktu hijau pada persimpangan bersinyal tetap. Webster merumuskan pendekatan matematis yang bertujuan meminimalkan tundaan rata-rata kendaraan

serta meningkatkan efisiensi operasi persimpangan.

Menurut Webster (1958), nilai waktu siklus optimal bergantung pada arus jenuh, rasio arus, dan waktu hilang. Ketiga parameter tersebut digunakan dalam perumusan waktu siklus optimal serta penentuan pembagian durasi lampu hijau pada setiap fase sehingga pengaturan sinyal dapat disesuaikan dengan beban lalu lintas aktual pada pendekat (Departemen Perhubungan, 1997). Karena kesederhanaannya dan kemampuannya memberikan estimasi yang stabil, metode ini banyak diterapkan pada lalu lintas di banyak negara, termasuk Manual Kapasitas Jalan Indonesia (MKJI) pada tahun 1997 yang digunakan sebagai rujukan nasional.

2.4.1 Arus Jenuh (s)

Arus jenuh adalah jumlah maksimum kendaraan yang dapat melewati lajur pendekat selama lampu hijau dan kuning menyala, dengan asumsi kendaraan sudah mencapai kecepatan konstan setelah percepatan awal. Nilainya dinyatakan dalam satuan smp/jam. Menurut MKJI (1997), nilai arus jenuh ditentukan berdasarkan lebar lajur, tipe pendekat, dan jenis kendaraan dominan. Untuk lebar lajur < 5.5 meter, nilai arus jenuh ditentukan berdasarkan tabel berikut.

Tabel 2.2 Arus jenuh untuk lebar pendekat < 5.5 m

Lebar Jalan (m)	3	3.5	4	4.5	5	5.5
Arus Jenuh (smp/jam)	1850	1875	1975	2175	2550	2900

Jika lebar pendekat > 5.5 meter, nilai arus jenuh dapat dihitung menggunakan formula empiris berikut:

$$s = \text{Lebar Jalan (m)} \times 525 \text{ (smp/jam)} \quad (2.4.1)$$

Setiap lajur pada suatu fase memiliki tingkat arus lalu lintas yang bervariasi dan berubah-ubah seiring waktu. Untuk mengetahui besar arus lalu lintas di jalan masuk, digunakan nilai rasio arus y , yang dihitung dengan persamaan berikut:

$$y = \frac{q}{s}$$

Keterangan:

q = arus kendaraan (smp/jam)

s = arus jenuh (smp/jam)

2.4.2 Waktu Hilang (L)

Waktu hilang merupakan total waktu yang tidak efektif dalam satu siklus sinyal lalu lintas akibat transisi antar fase, yaitu waktu yang terbangun pada saat perpindahan dari lampu hijau ke merah dan sebaliknya. Besarnya waktu hilang ini berpengaruh terhadap kapasitas simpang dan kinerja pengaturan lalu lintas secara keseluruhan. Waktu hilang dapat dihitung berdasarkan persamaan berikut:

$$L = 2n + R \quad (2.4.2)$$

Keterangan:

- L : total waktu hilang (*lost time*) per siklus (detik)
- n : jumlah fase sinyal
- R : waktu antar hijau atau waktu pembersihan (*all-red time*) pada akhir siklus (detik)

Nilai L berperan penting dalam menentukan waktu siklus optimal (C_0) karena memengaruhi panjang waktu efektif yang tersedia untuk arus kendaraan.

2.4.3 Waktu Siklus Optimal (C_0)

Waktu siklus optimal merupakan durasi total satu putaran penuh sinyal lalu lintas (lampu hijau, kuning, dan merah) pada suatu persimpangan yang dihitung untuk meminimalkan tundaan rata-rata kendaraan. Nilai ini diperoleh dari hubungan antara arus lalu lintas aktual dan arus jenuh pada tiap pendekat, sehingga waktu hijau dapat dibagi secara proporsional sesuai tingkat kepadatan masing-masing arah. Rumus waktu siklus optimal:

$$C_o = \frac{1.5 L + 5}{1 - Y} \quad (2.4.3)$$

Keterangan:

- C_o = waktu siklus optimal (detik)
- L = total waktu hilang (*lost time*) per siklus (detik)

- $Y = \sum y_i$ = jumlah rasio arus dari semua pendekat utama
 - $y_i = \frac{q_i}{s_i}$
 - q_i = arus lalu lintas pada pendekat ke- i (kendaraan/jam)
 - s_i = arus jenuh pendekat ke- i (kendaraan/jam)

2.4.4 Waktu Menyala Lampu Hijau Efektif

Menurut Webster (1960), waktu hijau efektif merupakan waktu yang digunakan secara efektif oleh kendaraan untuk melintasi persimpangan selama fase lampu hijau menyala. Waktu ini dihitung setelah dikurangi waktu hilang pada awal dan akhir fase (*start-up dan clearance lost time*). Rumus waktu hijau efektif:

$$g = \frac{y}{Y}(C_0 - L) \quad (2.4.4)$$

Keterangan:

- g : waktu hijau efektif (detik)
- y : rasio arus lalu lintas pada tiap pendekat
- Y : jumlah rasio arus maksimum dari seluruh fase
- C_o : waktu siklus optimum (detik)
- L : total waktu hilang (*lost time*) per siklus (detik)

2.4.5 Waktu Menyala Lampu Merah Efektif

Waktu merah efektif merupakan durasi waktu ketika arus kendaraan pada suatu fase tidak mendapat sinyal hijau dan tidak dapat melintasi persimpangan. Waktu ini dihitung berdasarkan selisih antara waktu siklus, waktu hijau efektif, dan waktu kuning. Rumus untuk menghitung waktu merah efektif adalah:

$$r = C_o - g - a \quad (2.4.5)$$

Keterangan:

- r : waktu merah efektif (detik)

- C_o : waktu siklus optimum (detik)
- g : waktu hijau efektif (detik)
- a : waktu kuning

BAB III

METODE PENELITIAN

3.1 Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan pada semester ganjil tahun ajaran 2025/2026 di Jurusan Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Lampung yang beralamatkan di Jalan Prof. Dr. Ir. Soemantri Brojonegoro, Gedong Meneng, Kecamatan Rajabasa, Kota Bandar Lampung, Lampung.

3.2 Data Penelitian

Data yang digunakan mencakup data primer dan data sekunder, yaitu sebagai berikut:

1. Data Geometri Persimpangan

Data ini mencakup jumlah lengan simpang, lebar tiap pendekat, dan jumlah lajur. Data digunakan untuk menggambarkan karakteristik fisik persimpangan dan menjadi dasar dalam perhitungan arus jenuh.

2. Data Sinyal Lalu Lintas

Data ini meliputi durasi menyala lampu merah, kuning, dan hijau pada setiap fase sinyal, serta urutan pergantian fase yang diperoleh melalui tiga periode pengamatan.

3. Data Volume Kendaraan

Diperoleh melalui metode manual (*manual counting*) pada setiap lengan simpang. Jenis kendaraan dikelompokkan menjadi:

- *Light Vehicle* (LV): mobil pribadi, angkutan umum, pick up
- *Heavy Vehicle* (HV): bus, truk
- *Motorcycle* (MC): kendaraan roda dua

3.3 Tahap Penelitian

Tahap pengolahan data pada penelitian ini dilakukan dengan beberapa langkah berikut:

1. **Penyusunan Geometri Persimpangan**
Menggambarkan bentuk persimpangan berdasarkan hasil observasi, meliputi lebar pendekat, jumlah lajur, dan arah gerakan kendaraan.
2. **Identifikasi Arus dan Pembentukan Graf Kompatibilitas**
Menentukan arus pada tiap pendekat (lurus, belok kiri, dan belok kanan) dan merepresentasikannya sebagai simpul. Arus-arus yang dapat bergerak bersamaan tanpa konflik dihubungkan sebagai sisi graf kompatibilitas.
3. **Penyederhanaan Graf**
Graf yang terbentuk disederhanakan dengan menghilangkan hubungan yang tidak relevan sehingga pola kompatibilitas arus dapat dianalisis dengan lebih jelas.
4. **Pemberian Bobot pada Graf Berarah**
Pemberian bobot dilakukan berdasarkan karakteristik pendekat, yaitu lebar jalan dan volume lalu lintas.

Tabel 3.1 Kriteria lebar jalan

Lebar Jalan (m)	Nilai
< 2	4
2 – 3	3
> 3 – 4	2
> 4	1

Tabel 3.2 Kriteria volume kendaraan

Volume (kend/jam)	Nilai
> 2000	5
1500 – 1999	4
1000 – 1499	3
500 – 999	2
0 – 499	1

5. Perhitungan Waktu Sinyal dengan Metode Webster

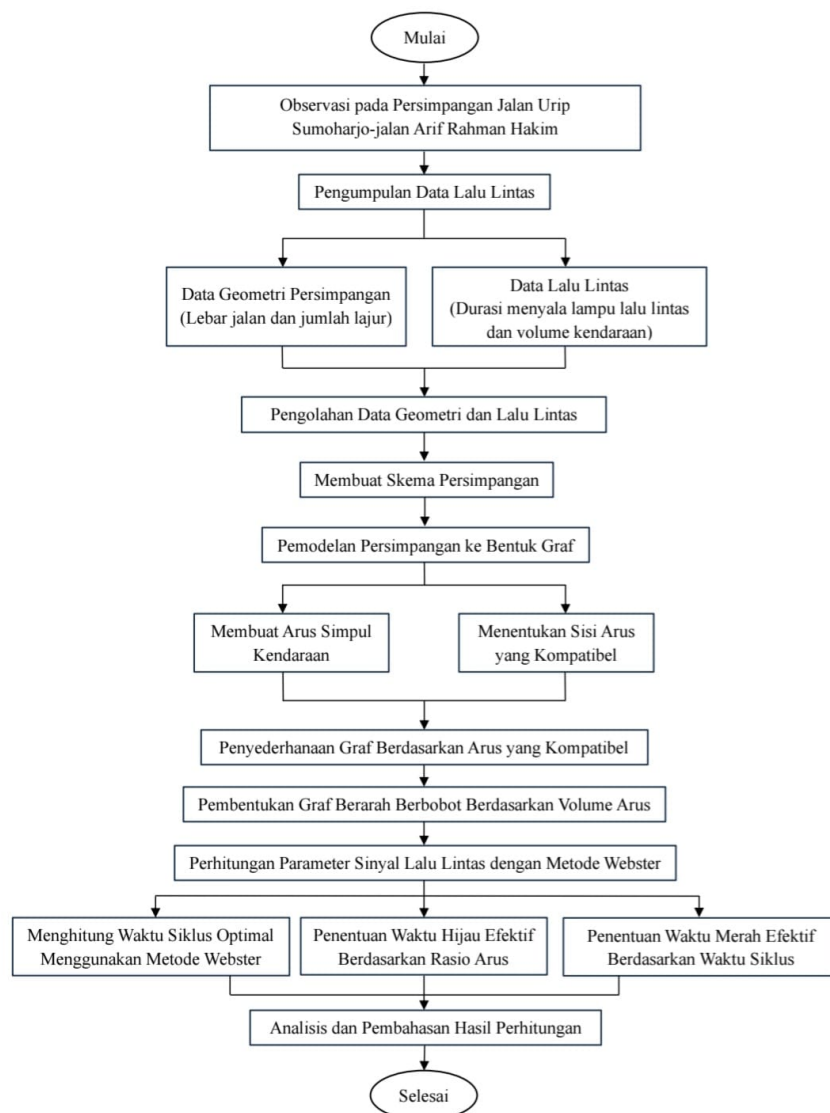
Pada tahap ini dihitung arus jenuh, rasio arus, waktu hilang, serta waktu siklus optimal berdasarkan rumus Webster.

6. Penentuan Waktu Hijau Efektif

Waktu hijau setiap fase dihitung berdasarkan proporsi rasio arus terhadap total rasio yang ada.

7. Perhitungan Waktu Merah Efektif

Waktu merah efektif diperoleh dari selisih antara waktu siklus dan waktu hijau yang telah dihitung sebelumnya.



Gambar 3.1 Diagram alir penelitian

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

1. Pemodelan arus lalu lintas pada persimpangan Jalan Urip Sumoharjo–Jalan Arif Rahman Hakim menggunakan graf kompatibel berbobot mampu menggambarkan pola pergerakan kendaraan secara jelas dan terstruktur, dengan setiap arus dimodelkan berdasarkan lebar jalan dan tingkat kepadatan sehingga hubungan arus yang dapat bergerak bersamaan dapat diidentifikasi dengan baik.
2. Jalan Urip Sumoharjo Barat dan Timur memiliki lebar jalan 3.5 m dengan volume kendaraan yang tinggi sehingga memerlukan waktu hijau lebih lama, yaitu sekitar 84 detik, sedangkan Jalan Letjen Alamsyah Ratu Prawiranegara dan Jalan Arif Rahman Hakim yang memiliki lebar jalan 4.5 m dengan volume lalu lintas lebih rendah membutuhkan waktu hijau masing-masing 53 detik dan 63 detik.
3. Hasil perhitungan waktu sinyal menggunakan metode Webster menunjukkan bahwa pengaturan lampu lalu lintas telah sesuai dengan kondisi lalu lintas di lapangan, menghasilkan waktu siklus yang mampu menampung seluruh pergerakan kendaraan, pembagian waktu hijau yang seimbang, serta memberikan dampak positif berupa berkurangnya antrian, menurunnya waktu tunggu, dan meningkatnya kelancaran arus lalu lintas.

5.2 Saran

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, penelitian selanjutnya disarankan dapat menggunakan metode optimasi lain sebagai pembanding terhadap metode Webster dan pemodelan graf kompatibel yang digunakan pada penelitian ini. Penggunaan metode lain, seperti algoritma metaheuristik atau metode simulasi lalu lintas, diharapkan mampu menghasilkan pengaturan waktu sinyal yang lebih optimal dan adaptif terhadap perubahan kondisi lalu lintas. Selain itu, pemanfaatan beberapa pendekatan yang berbeda juga dapat memberikan gambaran perbandingan kinerja metode dalam mengoptimalkan pengaturan lampu lalu lintas pada persimpangan.

DAFTAR PUSTAKA

- Allandi, M. (2023). *Peningkatan Kinerja Persimpangan di Jalan Urip Sumoharjo – Endro Suratmin Kota Bandar Lampung*. Politeknik Transportasi Darat Indonesia STTD.
- Cahyani, U. (2018). *Optimasi Pengaturan Lampu Lalu Lintas di Kota Medan Menggunakan Graf dan Metode Webster*. Skripsi. Universitas Islam Negeri Sumatera Utara.
- Chairani, C., Jaya, I., & Cipta, H. (2021). Optimasi Waktu Tunggu Total dengan Metode Webster dalam Mengatasi Kemacetan Lalu Lintas Persimpangan Jalan Kolonel Yos Sudarso. *FARABI: Jurnal Matematika dan Pendidikan Matematika*. Universitas Islam Negeri Sumatera Utara, Medan.
- Departemen Perhubungan Direktorat Jenderal Perhubungan Darat. (1996). *Pedoman Pengaturan Lalu Lintas pada Persimpangan Bersinyal*. Jakarta: Departemen Perhubungan.
- Departemen Perhubungan. (1997). *Manual Kapasitas Jalan Indonesia (MKJI)*. Direktorat Jenderal Bina Marga, Jakarta.
- Fanani, A. (2016). Optimasi Waktu Tunggu Lampu Lalu Lintas dengan Menggunakan Graf Kompatibel sebagai Upaya Mengurangi Kemacetan. *SYSTEMIC: Jurnal Ilmiah Matematika dan Aplikasinya*, 2(1), 45–50. Fakultas Sains dan Matematika, UIN Sunan Ampel Surabaya.
- Farida, Y., Fanani, A., Purwanti, I., Wulandari, L., & Zaen, N. J. (2020). Pemodelan Arus Lalu Lintas dan Waktu Tunggu Total Optimal di Persimpangan Jl. Jemur Andayani–Ahmad Yani sebagai Upaya Mengurai Kemacetan. *BAREKENG: Jurnal Ilmu Matematika dan Terapan*, 14(3), 389–398. Universitas Pattimura, Ambon.
- Julianto, R. (2012). Analisis Kinerja Persimpangan Bersinyal di Kota Semarang. *Jurnal Transportasi*, 12(2), 45–54.
- Munir, R. (2012). *Matematika Diskrit*. Edisi ke-3. Bandung: Informatika.
- Nasya Alifiah, N., Simamora, D., Putri, C. A., & Ningsi, R. S. (2023). Model Optimasi Waktu Tunggu Lampu Lalu Lintas dengan Metode Webster. *MathUnesa: Jurnal Ilmiah Matematika*, UIN Sumatera Utara.

- Poernamasari, I., Tumilaar, R., & Montolalu, C. E. J. C. (2019). Optimasi Pengaturan Lampu Lalu Lintas dengan Menggunakan Metode Webster (Studi Kasus Persimpangan Jalan Babe Palar). *d'Cartesian: Jurnal Matematika dan Aplikasi*. Universitas Sam Ratulangi, Manado.
- Prasetyanto, D. (2019). *Rekayasa Lalu Lintas dan Keselamatan Jalan*. Bandung: Penerbit Itenas.
- Republik Indonesia. (2009). *Undang-Undang Nomor 22 Tahun 2009 tentang Lalu Lintas dan Angkutan Jalan*. Jakarta: Sekretariat Negara.
- Veronika, V., & Prayitno, E. (2018). Kinerja Simpang Bersinyal pada Jam Puncak (Studi Kasus: Simpang Empat Alai, Kota Padang). *Jurnal Rekayasa*, 20(2), 45–52.
- Webster, F.V. (1958). *Traffic Signal Settings*. Road Research Technical Paper No. 39, Road Research Laboratory, London.