

OPTIMASI PENGATURAN LAMPU LALU LINTAS DENGAN MENGGUNAKAN METODE WEBSTER (STUDI KASUS PERSIMPANGAN JALAN MALINO)

Sahlan Sidjara¹, Adinda Maghfirah Tiham², Syamsuddin Mas'ud³

Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Negeri Makassar ^{1,2,3}

Email: sahlansidjara@unm.ac.id¹, adindamaghfirah0410@gmail.com²,
syamsuddinm@unm.ac.id³,

Corresponding Author: Sahlan Sidjara email: sahlansidjara@unm.ac.id¹

Abstrak. Peningkatan jumlah kendaraan di Kabupaten Gowa menyebabkan kepadatan di Persimpangan Jalan Malino, memicu antrian panjang dan waktu tempuh lebih lama sehingga diperlukan optimasi sinyal. Penelitian ini bertujuan mengoptimalkan durasi lampu lalu lintas dengan mengombinasikan graf kompatibel dan metode Webster. Metode yang digunakan adalah penelitian terapan dengan pendekatan kuantitatif, memanfaatkan data primer dari survei lapangan dan data sekunder dari Dinas Perhubungan. Penelitian dilaksanakan di Dinas Perhubungan Kabupaten Gowa dan Jurusan Matematika FMIPA UNM pada bulan April s.d Juni 2025. Graf kompatibel digunakan untuk menentukan fase tanpa konflik, sedangkan metode Webster diterapkan untuk menghitung waktu siklus optimum serta pembagian waktu hijau dan merah berdasarkan beban lalu lintas. Hasil menunjukkan seluruh arus saling berkonflik sehingga diperlukan tiga fase dengan waktu siklus optimum 171 detik. Setelah optimasi, terjadi peningkatan waktu hijau pada beberapa pendekat, terutama Jalan Malino dan Usman Salengke Selatan, serta penyesuaian waktu merah. Secara keseluruhan, pengaturan ini meningkatkan efisiensi simpang dan memperlancar arus lalu lintas meskipun pada beberapa titik terjadi peningkatan waktu tunggu yang tetap optimal.

Kata Kunci: Graf Kompatibel, Webster, Optimasi, Lampu Lalu Lintas, Persimpangan.

Abstract. The increasing number of vehicles in Gowa Regency causes congestion at the Malino Road Intersection, triggering long queues and longer travel times, so that signal optimization is needed. This study aims to optimize traffic light duration by combining compatible graphs and the Webster method. The method used is applied research with a quantitative approach, utilizing primary data from field surveys and secondary data from the Transportation Agency. The research was conducted at the Department of Transportation of Gowa Regency and the Department of Mathematics, FMIPA UNM, from April to June 2025. Compatible graphs are used to determine the phase without conflict, while the Webster method is applied to calculate the optimum cycle time and the division of green and red times based on traffic load. The results show that all flows conflict with each other so that three phases are required with an optimum cycle time of 171 seconds. After optimization, there is an increase in green time on several approaches, especially Jalan Malino and Usman Salengke Selatan, as well as adjustments to red time. Overall, this arrangement improves intersection efficiency and smooths traffic flow although at some points there is an increase in waiting time that remains optimal.

Keywords: Compatible Graph, Webster, Optimization, Traffic Light, Intersection.

A. Pendahuluan

Matematika memiliki peran penting dalam menyelesaikan berbagai permasalahan kehidupan nyata, termasuk dalam bidang transportasi dan rekayasa lalu lintas. Salah satu cabang matematika yang banyak digunakan untuk menganalisis sistem yang kompleks adalah teori graf. Teori graf berfungsi untuk memodelkan hubungan antar objek (titik) melalui garis penghubung (sisi). Dalam konteks lalu lintas, teori graf dapat digunakan untuk menggambarkan hubungan antar arus kendaraan di persimpangan jalan, sehingga membantu dalam menganalisis, merancang, serta mengoptimalkan pengaturan lalu lintas agar lebih efisien dan minim konflik (Fanani, 2016).

Salah satu penerapan teori graf dalam bidang transportasi adalah graf kompatibel, yaitu graf yang menunjukkan kombinasi arus lalu lintas yang dapat berjalan bersamaan tanpa



menimbulkan konflik. Graf kompatibel adalah graf yang menunjukkan arus lalu lintas mana saja yang dapat berjalan bersamaan tanpa konflik di persimpangan (Farida et al., 2020). Teori graf sendiri merupakan salah satu cabang matematika yang banyak dimanfaatkan dalam kehidupan sehari-hari untuk menggambarkan berbagai struktur secara visual agar lebih mudah dipahami. Dalam konteks lalu lintas, penggunaan graf kompatibel memungkinkan setiap pergerakan kendaraan di persimpangan dimodelkan secara matematis, sehingga pengaturan lampu lalu lintas dapat dilakukan secara lebih sistematis dan efisien (Sabrina & Mulyono, 2023). Selain itu, graf kompatibilitas juga sering digunakan untuk menentukan waktu tunggu total serta mengatur pergerakan arus kendaraan, sehingga dapat mengurangi potensi kemacetan dan meningkatkan kelancaran lalu lintas (Sugarda & Cipta, 2025).

Selain teori graf, metode *webster* juga banyak diterapkan dalam analisis matematis terhadap sistem lampu lalu lintas. Metode ini digunakan untuk menentukan waktu siklus optimal lampu lalu lintas berdasarkan volume kendaraan yang melintas di setiap pendekatan. Rumus *webster* mempertimbangkan faktor-faktor seperti derajat kejenuhan, waktu hilang (*lost time*), dan jumlah fase, sehingga dapat menghasilkan durasi lampu hijau yang optimal untuk meminimalkan waktu tundaan dan panjang antrian kendaraan. *webster* mengembangkan persamaan untuk menghitung penundaan rata-rata per kendaraan ketika mendekati persimpangan serta menurunkan persamaan untuk memperoleh waktu siklus optimum yang menghasilkan penundaan minimum (Poernamasari et al., 2019). Penundaan kendaraan terjadi ketika jumlah kendaraan yang masuk ke dalam persimpangan lebih besar dibandingkan dengan jumlah kendaraan yang keluar, sehingga penerapan metode *webster* sangat penting untuk mengoptimalkan kinerja simpang dan memperlancar arus lalu lintas (Alifiah et al., 2025).

Kombinasi antara graf kompatibel dan metode *webster* memberikan pendekatan matematis yang kuat dalam upaya mengoptimalkan pengaturan lampu lalu lintas di persimpangan. Melalui pendekatan ini, setiap arus kendaraan dapat diatur secara efisien berdasarkan hubungan kompatibilitas dan volume aktual kendaraan, sehingga potensi kemacetan dapat dikurangi secara signifikan (Chairani et al., 2021).

Permasalahan kemacetan di Indonesia sendiri terus meningkat seiring dengan pertumbuhan jumlah kendaraan bermotor. Berdasarkan data dari Badan Pusat Statistik (BPS), jumlah kendaraan di Indonesia pada tahun 2022 mencapai 148.261.817 unit, meningkat dibandingkan tahun 2021 sebanyak 141.992.573 unit dan tahun 2020 sebanyak 136.137.451 unit. Peningkatan ini meliputi berbagai jenis kendaraan, mulai dari kendaraan berat hingga kendaraan ringan seperti sepeda motor. Kondisi ini menyebabkan penurunan kapasitas ideal jalan dan menjadi salah satu penyebab utama kemacetan di berbagai kota besar (Bps.go.id, 2022).

Salah satu wilayah yang menghadapi permasalahan lalu lintas cukup serius adalah Kota Makassar dan sekitarnya, termasuk Kabupaten Gowa. Sebagai kota metropolitan terbesar di Indonesia Timur, Makassar memiliki pertumbuhan kendaraan yang sangat pesat. Berdasarkan laporan Dinas Perhubungan Kota Makassar, jumlah kendaraan di wilayah ini telah mencapai 2,1 juta unit, dengan pertumbuhan kendaraan roda dua sebesar 14% per tahun dan roda empat sebesar 10% per tahun. Sementara itu, pertumbuhan panjang jalan hanya sekitar 0,001% per tahun (Rustam & Siauwan, 2021). Ketidakseimbangan ini menyebabkan kemacetan terutama pada titik-titik persimpangan jalan.

Salah satu titik kemacetan yang cukup parah di Kabupaten Gowa, terutama di Jalan Malino, adalah persimpangan yang menghubungkan beberapa ruas jalan penting, termasuk Jalan Usman Salengke dan jalan menuju Takalar. Jalan Malino berfungsi sebagai salah satu akses dari Kota Makassar ke Kabupaten Gowa dan Takalar. Berdasarkan hasil survei lalu lintas yang dilakukan pada tahun 2023, volume kendaraan pada jam puncak mencapai 3.313 kendaraan per jam di arah Takalar, dengan tingkat kejenuhan yang sangat tinggi. Aktivitas masyarakat yang tinggi di sekitar kawasan ini, ditambah dengan adanya hambatan samping



seperti parkir kendaraan dan pedagang kaki lima, semakin memperburuk kondisi kemacetan. Di samping itu, kapasitas jalan di persimpangan ini tidak sebanding dengan peningkatan volume kendaraan yang terus meningkat, sehingga memerlukan perhatian serius dalam pengelolaan lalu lintas di Jalan Malino, yang merupakan jalur penting bagi Kota Makassar (Halim et al., 2023).

Secara umum, lampu lalu lintas berfungsi mengatur arus kendaraan agar pergerakan di persimpangan berjalan teratur dan aman. Namun, pengaturan waktu lampu lalu lintas di lapangan sering kali masih bersifat statis dengan durasi tetap yang tidak mempertimbangkan perubahan volume kendaraan di waktu tertentu. Hal ini menyebabkan durasi lampu merah terlalu lama atau lampu hijau terlalu singkat, sehingga antrian kendaraan menjadi panjang (Nisa & Muzdalifah, 2021).

Penelitian yang dilakukan oleh Muhammad, Syukriah, dan Dahniar (2017) mengkaji optimasi durasi lampu hijau pada simpang empat Lhokseumawe menggunakan *logika fuzzy* dengan metode Mamdani pada aplikasi MATLAB. Penelitian ini bertujuan untuk meningkatkan efektivitas pengaturan lalu lintas yang selama ini dinilai kurang optimal akibat fluktuasi arus kendaraan yang tidak seimbang. Hasil penelitian menunjukkan bahwa penggunaan *logika fuzzy* dapat menghasilkan durasi lampu hijau yang lebih adaptif terhadap volume kendaraan. Durasi optimal yang diperoleh adalah 24,6 detik untuk pendekat Utara (Jalan Darussalam), 15,3 detik untuk pendekat Selatan (Jalan Panglatah), serta 60 detik untuk pendekat Timur (Jalan Merdeka Timur) dan pendekat Barat (Jalan Merdeka Barat). Dibandingkan dengan metode Manual Kapasitas Jalan Indonesia (MKJI), metode *fuzzy logic* terbukti lebih efektif dalam mengurangi kemacetan dan antrian kendaraan di persimpangan tersebut.

Penelitian lainnya yang dilakukan oleh Calvin Noval, Ir. Agus Virgono, dan Randy Erfa Saputra (2018) membahas optimasi sistem lampu lalu lintas cerdas menggunakan metode *webster*. Penelitian ini bertujuan untuk mengurangi waktu penundaan kendaraan di persimpangan dengan menyesuaikan durasi lampu hijau berdasarkan kepadatan kendaraan yang terdeteksi oleh sensor. Dengan mengimplementasikan metode *webster*, penelitian ini berhasil mengoptimalkan sistem lampu lalu lintas dan mengurangi waktu penundaan rata-rata kendaraan sebesar 40,52% pada fase 1 dan 15,97% pada fase 2 dibandingkan dengan kondisi eksisting. Hasil ini menunjukkan bahwa metode *webster* dapat secara signifikan meningkatkan efisiensi lalu lintas dan mengurangi kemacetan di persimpangan jalan.

Perbedaan antara penelitian sebelumnya dengan penelitian berjudul "Optimasi Pengaturan Lampu Lalu Lintas dengan Menggunakan Metode *Webster* (Studi Kasus Persimpangan Jalan Malino)" terletak pada pendekatan optimasi yang digunakan. Penelitian oleh Muhammad dkk. (2017) menggunakan *logika fuzzy*, sedangkan penelitian Calvin Noval dkk. (2018) menerapkan metode *webster*. Penelitian "Optimasi Pengaturan Lampu Lalu Lintas dengan Menggunakan Metode *Webster*" menggabungkan graf kompatibel dan metode *webster* untuk mengoptimalkan durasi lampu lalu lintas, dengan tujuan meningkatkan efisiensi dan mengurangi kemacetan di persimpangan Jalan Malino.

Penelitian ini diharapkan dapat mengatasi masalah kemacetan dengan menentukan waktu tunggu optimal dan menyesuaikan durasi lampu lalu lintas berdasarkan volume kendaraan. Hasil dari penelitian ini menjadi solusi praktis bagi Dinas Perhubungan Kabupaten Gowa dalam merancang pengaturan lampu lalu lintas yang lebih efisien terutama pada persimpangan jalan malino yang memiliki tingkat kemacetan yang tinggi. Selain itu, hasil penelitian ini juga dapat menjadi acuan bagi pengelola jalan lain dalam mengurangi kemacetan dan meningkatkan keselamatan serta kenyamanan pengendara.

B. Metodologi Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan pada Maret hingga Juli 2025 di persimpangan Jalan Malino, Kabupaten Gowa, Sulawesi Selatan. Studi ini merupakan penelitian terapan dengan pendekatan

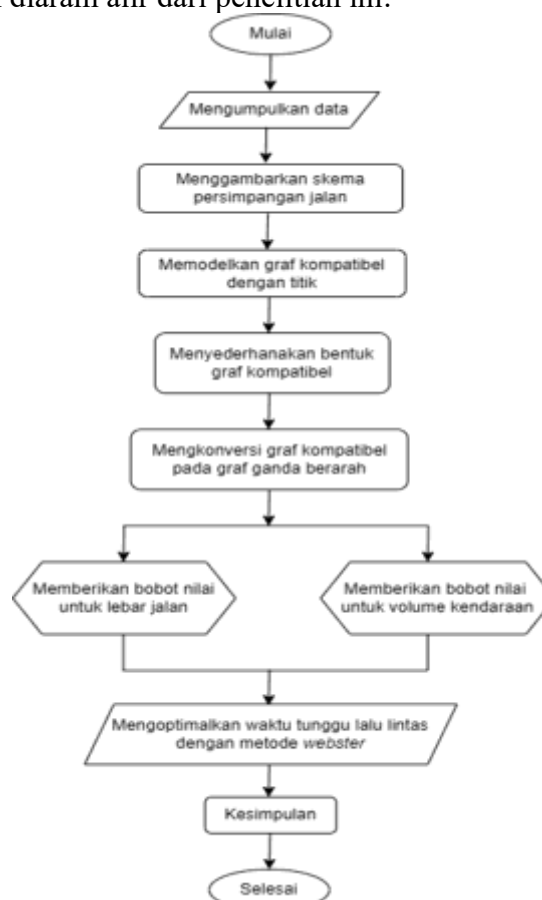


kuantitatif yang menggunakan data primer dan sekunder (Chairani et al., 2021). Data sekunder diperoleh dari Dinas Perhubungan Kabupaten Gowa, meliputi informasi nama jalan dan rekaman CCTV, sedangkan data primer dikumpulkan langsung di lokasi penelitian, seperti lebar jalur dan waktu pengaturan lampu lalu lintas. Data volume kendaraan diperoleh dari kombinasi rekaman CCTV dan observasi lapangan. Variabel yang dianalisis mencakup jumlah jalur pada persimpangan, lebar jalan tiap jalur, durasi sinyal lalu lintas, serta jumlah kendaraan yang menunggu pada setiap interval waktu.

Langkah penelitian dimulai dengan pengumpulan data kondisi geometrik jalan dan volume kendaraan. Data mencakup nama jalan, bentuk dan jumlah jalur persimpangan, lebar tiap jalur, serta volume kendaraan per jam hingga waktu puncak. Kendaraan diklasifikasikan menjadi *Light Vehicle* (LV), *Heavy Vehicle* (HV), dan *Motorcycle* (MC). Data diperoleh dari Dinas Perhubungan Kabupaten Gowa dan observasi lapangan pada tiga periode waktu, yaitu pagi, siang, dan sore, mengacu pada penelitian sebelumnya dan kondisi aktual di lapangan (Sendow et al., 2023).

Selanjutnya, bentuk persimpangan digambarkan dan dikonversi ke dalam graf kompatibel, kemudian disederhanakan dan diubah menjadi graf ganda berarah berbobot berdasarkan lebar jalan dan volume kendaraan (Poernamasari et al., 2019). Tahap berikutnya adalah optimasi waktu sinyal menggunakan metode Webster, meliputi perhitungan waktu siklus optimum, waktu hijau efektif, dan waktu merah efektif. Tahapan ini bertujuan meminimalkan waktu tunggu kendaraan. Terakhir, dilakukan penarikan kesimpulan berdasarkan hasil analisis yang diperoleh.

Berikut merupakan diagram alir dari penelitian ini:

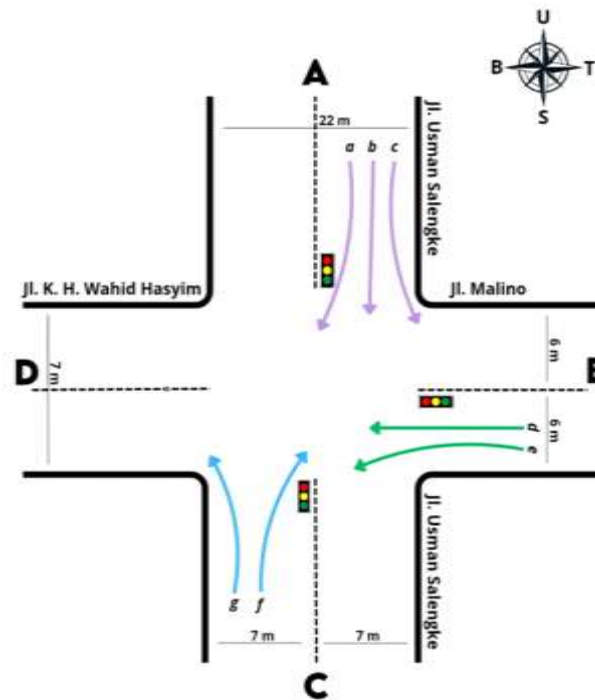


Gambar 1. Diagram alir penelitian

C. Hasil Penelitian dan Pembahasan

Pengumpulan Data

Gambaran dari objek penelitian dapat dilihat pada Gambar 2 di bawah ini:



Gambar 2. Skema Arus Lalu Lintas di Persimpangan Jalan Malino

Berdasarkan Gambar 2, persimpangan yang diteliti terdiri dari empat arah utama dengan karakteristik berbeda. Pada bagian utara, Jalan Usman Salengke memiliki satu jalur dengan lebar 22 m serta dilengkapi lajur belok kiri langsung dan belok kanan langsung. Bagian selatan juga merupakan Jalan Usman Salengke, namun terdiri dari dua jalur (masuk dan keluar) dengan lebar masing-masing 7 m. Pada sisi barat terdapat Jalan K.H. Wahid Hasyim yang memiliki satu jalur dengan lebar 7 m. Sementara itu, bagian timur adalah Jalan Poros Malino yang terdiri dari dua jalur (masuk dan keluar), masing-masing dengan lebar 6 m.

Tabel 1. Waktu Lampu Lalu Lintas pada Persimpangan

Persimpangan	Merah (s)	Kuning (s)	Hijau (s)	Total Waktu
Usman Salengke (Utara)	105	3	35	143
Malino	108	3	20	131
Usman Salengke (Selatan)	110	3	25	138

Berdasarkan table 1, data waktu sinyal pada persimpangan menunjukkan variasi durasi pada setiap pendekatan. Pada Usman Salengke (Utara), waktu merah tercatat 105 detik, kuning 3 detik, dan hijau 35 detik dengan total siklus 143 detik. Pada Jalan Malino, waktu merah 108 detik, kuning 3 detik, dan hijau 20 detik dengan total 131 detik. Sementara itu, pada Usman Salengke (Selatan), waktu merah mencapai 110 detik, kuning 3 detik, dan hijau 25 detik dengan total siklus 138 detik. Perbedaan ini menunjukkan adanya ketidakseimbangan pembagian waktu sinyal pada masing-masing pendekatan.

Tabel 2. Volume Kendaraan di Persimpangan Jalan Malino

No.	Waktu	Persimpangan								
		Usman Salengke (U)			Malino			Usman Salengke(S)		
		LV	HV	MC	LV	HV	MC	LV	HV	MC
1.	07.00-08.00	960	70	3.765	842	47	3.817	864	86	3.976
2.	12.00-13.00	1.049	213	4.038	943	56	3.929	1.284	224	4.282
3.	16.00-17.00	1.164	186	4.727	827	63	3.531	1.627	208	4.643
Total/jenis Kendaraan		3.173+ 469+12.530			2.612+166+11.277			3.775+518+12.901		
Total Keseluruhan		16.172			14.055			17.194		

Berdasarkan table 2, data volume kendaraan menunjukkan bahwa arus lalu lintas di persimpangan didominasi oleh *motorcycle* (MC) pada seluruh periode waktu, baik pagi, siang, maupun sore. Total kendaraan di Usman Salengke (Utara) mencapai 16.172 kendaraan yang terdiri dari 3.173 *Light Vehicle* (LV), 469 *Heavy Vehicle* (HV), dan 12.530 sepeda motor, sedangkan pada Jalan Malino tercatat 14.055 kendaraan (2.612 LV, 166 HV, dan 11.277 MC), serta pada Usman Salengke (Selatan) sebesar 17.194 kendaraan (3.775 LV, 518 HV, dan 12.901 MC). Puncak volume lalu lintas terjadi pada periode sore hari yang mencerminkan tingginya mobilitas masyarakat setelah beraktivitas.

Sistem Arus Lalu Lintas Di Persimpangan Jalan Malino

Pola pergerakan arus lalu lintas di persimpangan ditetapkan berdasarkan peraturan dan dikendalikan oleh lampu lalu lintas, kemudian dilakukan survei awal untuk mengidentifikasi lintasan yang dapat dilalui serta menentukan kombinasi arus yang dapat berjalan bersamaan tanpa konflik. Selanjutnya, pola tersebut dimodelkan ke dalam graf dengan merepresentasikan arus sebagai sisi dan titik sebagai simpul. Berdasarkan hasil pengamatan, ditentukan arah-arah pergerakan utama pada persimpangan sebagai berikut:

- 1) A-B: Arah Jalan Usman Salengke (Utara) menuju arah Jalan Malino.
- 2) A-C: Arah Jalan Usman Salengke (Utara) menuju arah Jalan Usman Salengke (Selatan).
- 3) A-D: Arah Jalan Usman Salengke (Utara) menuju arah Jalan K. H. Wahid Hasyim.
- 4) B-C: Arah Jalan Malino menuju arah Jalan Usman Salengke (Selatan).
- 5) B-D: Arah Jalan Malino menuju arah Jalan K. H. Wahid Hasyim.
- 6) C-B: Arah Jalan Usman Salengke (Selatan) menuju arah Jalan Malino.
- 7) C-D: Arah Jalan Usman Salengke (Selatan) menuju arah Jalan K. H. Wahid Hasyim.

Data tersebut kemudian divisualisasikan dalam skema berwarna sesuai asal arus sebagai berikut:

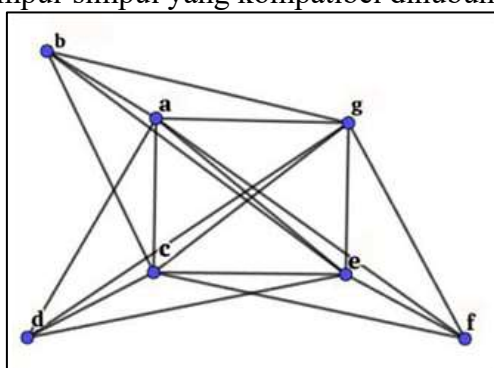
- 1) Garis berwarna ungu dengan jalur *a*, *b*, dan *c* adalah jalur kendaraan dari arah Jalan Usman Salengke (Utara) menuju arah Jalan K. H. Wahid Hasyim (*a*), arah Jalan Usman Salengke (Selatan) (*b*), dan arah Jalan Malino (*c*).
- 2) Garis berwarna hijau dengan jalur *d* dan *e* adalah jalur kendaraan dari arah Jalan Malino menuju arah Jalan K. H. Wahid Hasyim (*d*) dan arah Jalan Usman Salengke (Selatan) (*e*).
- 3) Garis berwarna biru dengan jalur *f* dan *g* adalah jalur kendaraan dari arah Jalan Usman Salengke (Selatan) menuju arah Jalan Malino (*f*) dan arah Jalan K. H. Wahid Hasyim (*g*).

Dari skema tersebut, kemudian disusun graf kompatibel dengan mengidentifikasi pasangan arus yang dapat berlangsung bersamaan secara aman. Hasilnya, yaitu pada table 3 menunjukkan bahwa jalur *a*, *c*, *e*, dan *g* kompatibel dengan seluruh jalur karena tidak terikat lampu lalu lintas, sedangkan jalur lainnya memerlukan pengaturan lebih lanjut.

Tabel 3. Jalur yang Kompatibel dan Tidak Kompatibel

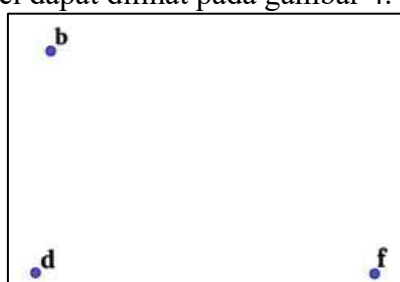
Arus Lalu Lintas pada Jalur	Kompatibel dengan	Tidak Kompatibel dengan
<i>a</i>	<i>b, c, d, e, f dan g</i>	-
<i>b</i>	<i>a, c, e dan g</i>	<i>d dan f</i>
<i>c</i>	<i>a, b, d, e, f dan g</i>	-
<i>d</i>	<i>a, c, e dan g</i>	<i>b dan f</i>
<i>e</i>	<i>a, b, c, d, f dan g</i>	-
<i>f</i>	<i>a, c, e dan g</i>	<i>b dan d</i>
<i>g</i>	<i>a, b, c, d, e dan f</i>	-

Selanjutnya, arus lalu lintas yang telah diidentifikasi sebagai kompatibel direpresentasikan dalam bentuk graf kompatibel, di mana setiap titik (noktah) melambangkan jalur arus lalu lintas, dan simpul-simpul yang kompatibel dihubungkan melalui sisi.



Gambar 3. Graf Kompatibel untuk arus lalu lintas di persimpangan

Gambar 3 menunjukkan hasil graf kompatibel dari arus lalu lintas pada persimpangan Jalan Malino, yang terdiri atas 7 jalur. Beberapa jalur memiliki arus lalu lintas yang kompatibel dengan jalur lainnya, sesuai dengan pengaturan lampu lalu lintas sebagaimana dijelaskan pada Tabel 3, yang memuat informasi mengenai jalur yang saling kompatibel maupun tidak kompatibel. Graf kompatibel tersebut kemudian disederhanakan dengan menghilangkan jalur *a, c, e*, dan *g* karena keempatnya kompatibel dengan seluruh jalur lainnya. Hasil penyederhanaan graf kompatibel dapat dilihat pada gambar 4.



Gambar 4. Penyederhanaan Graf Kompatibel

Pada gambar 4 dihasilkan graf kosong (*null graph*) karena terdapat 3 titik yang tidak saling kompatibel (tanpa sisi), sehingga setiap sisi harus menjadi fase terpisah. Dikarenakan ketiga titik yang tersisa setelah disederhanakan tidak ada yang saling kompatibel berarti tidak ada jalur yang memiliki fase yang sama maka terdapat 3 fase pada persimpangan jalan tersebut.

Waktu siklus optimum untuk lampu lalu lintas di persimpangan

Setelah jumlah fase persimpangan ditentukan, langkah selanjutnya adalah menghitung waktu siklus lampu lalu lintas optimal (C_0) sebagai durasi minimum yang menghasilkan penundaan rata-rata terkecil. Data volume kendaraan kemudian dikonversi ke satuan mobil penumpang per jam (Smp/jam), di mana persimpangan Jalan Malino termasuk pendekat

terlindung karena tidak mengalami konflik arus. Proses konversi dilakukan dengan mengalikan kendaraan ringan (LV) dengan emp 1,0, kendaraan berat (HV) dengan 1,3, dan sepeda motor (MC) dengan 0,2, lalu dijumlahkan untuk memperoleh total volume dalam Smp/jam yang selanjutnya disajikan dalam table 4, 5, dan 6.

Tabel 4. Volume Kendaraan pada Jalan Usman Salengke (Utara)

Waktu	(LV)		(HV)		(MC)		Jumlah	
	emp = 1,0		emp = 1,3		emp = 0,2			
	Kend	Smp	Kend	Smp	Kend	Smp	Kend/jam	Smp/jam
	1	2	3	4	5	6	7=1+3+5	8=2+4+6
07.00-08.00	960	960	70	91	3.765	753	4.795	1.804
12.00-13.00	1.049	1.049	213	277	4.038	808	5.300	2.134
16.00-17.00	1.164	1.164	186	242	4.727	945	6.077	2.351

Pada tabel 4 dapat dilihat bahwa pada Jalan Usman Salengke (Utara) terjadi *peak hour* (puncak volume kendaraan) pada pukul 16.00-17.00 WITA dengan semua kendaraan dikonversikan. Jenis kendaraan ringan (LV) sebanyak 1.164 kend/jam dikali dengan 1,0 emp menjadi 1.164 smp/jam, jenis kendaraan berat (HV) yaitu 186 jenis kend/jam dikali 1,3emp menjadi 242 smp/jam, dan sepeda motor (MC) yaitu 4.727 kend/jam dikali 0,2 emp menjadi 945 smp/jam. Sehingga pada simpang Jalan Usman Salengke (Utara) diperoleh *peak hour* (puncak volume kendaraan) yaitu berjumlah 2.351 smp/jam.

Tabel 5. Volume Kendaraan pada Jalan Malino

Waktu	(LV)		(HV)		(MC)		Jumlah	
	emp = 1,0		emp = 1,3		emp = 0,2			
	Kend	Smp	Kend	Smp	Kend	Smp	Kend/jam	Smp/jam
	1	2	3	4	5	6	7=1+3+5	8=2+4+6
07.00-08.00	842	842	47	61	3.817	763	4.706	1.666
12.00-13.00	943	943	56	73	3.929	786	4.928	1.802
16.00-17.00	827	827	63	82	3.531	706	4.421	1.615

Pada tabel 5 dapat dilihat bahwa pada Jalan Malino terjadi *peak hour* (puncak volume kendaraan) pada pukul 12.00-13.00 WITA dengan semua kendaraan dikonversikan. Jenis kendaraan ringan (LV) sebanyak 943 kend/jam dikali dengan 1,0 emp menjadi 943 smp/jam, jenis kendaraan berat (HV) yaitu 56 jenis kend/jam dikali 1,3emp menjadi 73 smp/jam, dan sepeda motor (MC) yaitu 3.929 kend/jam dikali 0,2 emp menjadi 786 smp/jam. Sehingga pada simpang Jalan Malino diperoleh *peak hour* (puncak volume kendaraan) yaitu berjumlah 1.802 smp/jam.

Tabel 6. Volume Kendaraan pada Jalan Usman Salengke (Selatan)

Waktu	(LV)		(HV)		(MC)		Jumlah	
	emp = 1,0		emp = 1,3		emp = 0,2			
	Kend	Smp	Kend	Smp	Kend	Smp	Kend/jam	Smp/jam
	1	2	3	4	5	6	7=1+3+5	8=2+4+6
07.00-08.00	864	864	86	112	3.976	795	4.926	1.771
12.00-13.00	1.284	1.284	224	291	4.282	856	5.790	2.431
16.00-17.00	1.627	1.627	208	270	4.643	929	6.478	2.826

Pada tabel 6 dapat dilihat bahwa pada Jalan Usman Salengke (Selatan) terjadi *peak hour* (puncak volume kendaraan) pada pukul 16.00-17.00 WITA dengan semua kendaraan



dikonversikan. Jenis kendaraan ringan (LV) sebanyak 2.047 kend/jam dikali dengan 1,0 emp menjadi 2.047 smp/jam, jenis kendaraan berat (HV) yaitu 208 jenis kend/jam dikali 1,3emp menjadi 270 smp/jam, dan sepeda motor (MC) yaitu 9.143 kend/jam dikali 0,2 emp menjadi 1.829 smp/jam. Sehingga pada simpang Jalan Usman Salengke (Selatan) diperoleh *peak hour* (puncak volume kendaraan) yaitu berjumlah 2.826 smp/jam.

Selanjutnya, penentuan waktu siklus optimum dilakukan dengan menetapkan waktu kuning sebesar 5 detik yang terdiri dari waktu hilang dan durasi lampu kuning. Selanjutnya dihitung arus jenuh pada masing-masing jalur, kemudian digunakan untuk menentukan derajat kejenuhan tiap pendekat serta total rasio kemacetan. Setelah itu dihitung waktu hilang total sebagai dasar dalam perhitungan siklus.

Berdasarkan parameter tersebut, waktu siklus optimum ditentukan menggunakan metode Webster, kemudian dihitung waktu efektif lampu hijau total yang selanjutnya didistribusikan ke tiap fase sesuai proporsi derajat kejenuhan. Dari pembagian tersebut, diperoleh pula waktu nyala lampu merah pada masing-masing fase ang dapat dilihat di table 7.

Tabel 7. Perbandingan Waktu Nyala Lampu Lalu Lintas

Persimpangan Jalan	Waktu Nyala Lampu yang Ada Di Lapangan				Waktu Nyala Lampu dengan Metode Webster			
	Merah (s)	Kuning (s)	Hijau (s)	Total Waktu	Merah (s)	Kuning (s)	Hijau (s)	Total Waktu
Usman Salengke (Utara)	105	3	35	143	129	5	37	171
Malino Usman	108	3	20	131	114	5	52	171
Salengke (Selatan)	110	3	25	138	96	5	70	171

Berdasarkan table 7, terdapat perbedaan antara kondisi di lapangan dengan hasil perhitungan metode Webster. Pada pendekat Usman Salengke arah utara, waktu siklus meningkat dari 143 detik menjadi 171 detik, dengan perubahan pada waktu merah dari 105 detik menjadi 129 detik, kuning dari 3 detik menjadi 5 detik, dan hijau dari 35 detik menjadi 37 detik. Pada pendekat Jalan Malino, waktu siklus berubah dari 131 detik menjadi 171 detik, dengan peningkatan signifikan pada waktu hijau dari 20 detik menjadi 52 detik. Sementara itu, pada pendekat Usman Salengke arah selatan, waktu siklus meningkat dari 138 detik menjadi 171 detik, dengan waktu hijau yang juga bertambah dari 25 detik menjadi 70 detik dan waktu merah menurun dari 110 detik menjadi 96 detik. Secara keseluruhan, metode Webster menghasilkan waktu siklus yang seragam sebesar 171 detik dan cenderung meningkatkan durasi lampu hijau.

Pembahasan

Pemodelan graf kompatibel pada arus lalu lintas di Persimpangan Jalan Malino menunjukkan adanya tujuh jalur dengan beberapa arus yang saling kompatibel. Setelah penyederhanaan dengan menghilangkan jalur yang tidak mengikuti aturan lampu, terbentuk graf kosong (null graph) karena tidak ada sisi penghubung antar simpul, yang berarti seluruh arus tidak kompatibel dan harus ditempatkan pada fase berbeda. Sesuai teori graf kompatibel, ketiadaan sisi menunjukkan arus tidak dapat berjalan bersamaan. Oleh karena itu, diperlukan tiga fase sinyal lalu lintas terpisah sebagai dasar dalam perhitungan waktu siklus optimum menggunakan metode Webster.



Berdasarkan perhitungan, diperoleh waktu siklus optimum sebesar 171 detik pada Persimpangan Jalan Malino, yang kemudian menjadi dasar pengaturan ulang durasi sinyal agar arus kendaraan lebih efisien dan waktu tunggu berkurang. Hasil optimasi menunjukkan adanya penyesuaian durasi pada tiap ruas: Jalan Usman Salengke (Utara) mengalami peningkatan lampu hijau menjadi 37 detik dan merah menjadi 129 detik; Jalan Malino mengalami peningkatan signifikan lampu hijau menjadi 52 detik; sedangkan Jalan Usman Salengke (Selatan) sebagai jalur terpadat memperoleh peningkatan lampu hijau menjadi 70 detik serta penurunan lampu merah menjadi 96 detik. Selain itu, durasi lampu kuning juga meningkat dari 3 menjadi 5 detik.

Penyesuaian ini didasarkan pada volume lalu lintas dan kapasitas jalan, di mana jalur dengan arus tinggi dan lebar terbatas diberikan prioritas waktu hijau lebih panjang untuk mengurangi antrean. Setelah optimasi, peningkatan durasi hijau pada jalur padat terbukti mampu mengurangi penumpukan kendaraan dan memperlancar arus. Meskipun terjadi peningkatan waktu tunggu pada beberapa arah, kondisi tersebut tetap optimal karena metode Webster meminimalkan total keterlambatan secara keseluruhan.

Hasil ini sejalan dengan penelitian sebelumnya oleh (Poernamasari et al., 2019), (Chairani et al., 2021) dan (Sendow et al., 2023) yang menunjukkan bahwa kombinasi graf kompatibel dan metode Webster efektif dalam mengoptimalkan sinyal lalu lintas. Dengan demikian, penerapan metode ini pada Persimpangan Jalan Malino dinilai valid dan mampu menghasilkan sistem sinyal yang lebih efisien serta bebas konflik.

D. Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian, pemodelan graf kompatibel pada Persimpangan Jalan Malino menunjukkan bahwa seluruh arus lalu lintas saling berkonflik sehingga tidak dapat bergerak secara bersamaan, yang ditandai dengan terbentuknya graf kosong setelah proses penyederhanaan. Kondisi ini mengharuskan pembagian arus ke dalam tiga fase sinyal untuk menghilangkan konflik, yang kemudian menjadi dasar dalam penentuan waktu siklus optimum menggunakan metode Webster. Penerapan metode tersebut menghasilkan siklus optimum sebesar 171 detik dan memungkinkan penyesuaian durasi lampu hijau, merah, dan kuning secara proporsional berdasarkan volume serta kapasitas tiap kaki simpang. Meskipun terdapat peningkatan waktu tunggu pada beberapa jalur, pengaturan ini tetap optimal karena secara keseluruhan mampu mengurangi antrean dan meningkatkan kelancaran arus lalu lintas di persimpangan. Penelitian berikutnya dapat dikembangkan dalam wilayah provinsi dengan mengambil 10 sampel persimpangan jalan yang mengalami kemacetan parah pada provinsi tersebut.

DAFTAR PUSTAKA

- Alifiah, N., Simamora, D., Putri, C. A., & Ningsi, R. S. (2025). Model Optimasi Waktu Tunggu Lampu Lalu Lintas Dengan Metode Webster. *Jurnal Ilmiah Matematika*, 13(1), 2301–9115. <https://doi.org/10.26740/mathunesa.v13n1.p1-10>
- Bps.go.id. (2022). *Perkembangan Jumlah Kendaraan Bermotor Menurut Jenis (Unit), 2021–2022*. Bps.Go.Id.
- Chairani, 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*, 4(2), 175–180.
<https://doi.org/10.47662/farabi.v4i2.226>. <https://doi.org/10.47662/farabi.v4i2.226>
- Fanani, A. (2016). Optimasi Waktu Tunggu Lampu Lalu Lintas Dengan Menggunakan Graf Kompatibel Sebagai Upaya Mengurangi Kemacetan. *Systemic: Information System and Informatics Journal*, 2(1), 45–50. <https://doi.org/10.29080/systemic.v2i1.107>.
<https://doi.org/10.29080/systemic.v2i1.107>
- 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. <https://doi.org/10.30598/barekengvol14iss3pp389-398>
- Halim, A. M., Basri, L., & Syafey, I. (2023). Analisis Kinerja dan Alternatif Pengendalian Kemacetan Pada Ruas Jalan Poros Pallangga Kabuapten Gowa. *INNOVATIVE: Journal Of Social Science Research*, 3(2), 5952–5963.
<https://doi.org/10.31004/innovative.v3i2.1128>
- Nisa, A. K., & Muzdalifah, L. (2021). *Kemacetan lalu lintas sering terjadi di berbagai kota di Indonesia . kemacetan timbul karena adanya konflik pergerakan yang datang tiap arah kaki simpanangnya dan untuk mengurangi konflik ini banyak dilakukan pengendalian untuk mengoptimalkan persimpangan d. 03(01), 1–5.*
- 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*, 8(1), 27. <https://doi.org/10.35799/dc.8.1.2019.24590>.
- Rustam, F., & Siauwan, M. (2021). Analisis Dampak Kemacetan pada Ruas Jalan Urip Sumoharjo Kota Makassar terhadap Biaya Transportasi Pengguna Jalan. *Journal of Applied Civil and Environmental Engineering*, 1(2), 74.
<https://doi.org/10.31963/jacee.v1i2.3000>
- Sabrina, A. N., & Mulyono. (2023). Penerapan Graf Kompatibel Pada Penentuan Waktu Tunggu Lampu Lalu Lintas Di Beberapa Persimpangan Kota Medan. *Seminar Nasional Jurusan Matematika 2023, Transformasi Matematika Dan Teknologi Menuju Generasi Matematika Unggul Untuk Pendidikan Indonesia Maju*, (November), 1180–1185.
- Sendow, E. S., Sulistyaningsih, M., & F. Monoarfa, J. (2023). Optimasi Waktu Tunggu Lampu Lalu Lintas dengan Mengaplikasikan Teori Graf dan Metode Webster. *Journal on Education*, 6(1), 2272–2284. <https://doi.org/10.31004/joe.v6i1.3240>
- Sugarda, A., & Cipta, H. (2025). Optimasi Waktu Tunggu Total Dan Pemodelan Arus Lalu Lintas Dengan Metode Graf Fuzzy Pada Persimpangan Fly Over Jamin Ginting Medan. *Jurnal Informatika Teknologi Dan Sains (JINTEKS)*, 7, 1287–1293.
<https://doi.org/10.51401/jinteks.v7i1.5204>

