

TRAFFIC LIGHT SEBAGAI ALTERNATIF MENGURANGI KEMACETAN DI JALAN DI KOTA MEDAN

Sultan Nico Nurarsy¹, Devi Puspita Sari², Dilla Atika Sury³, Dicky Apdillah⁴

^{1,2,3,4}Universitas Asahan

Email: sultannicoo@gmail.com¹, devipuspa697@gmail.com², dillaatikasury09@gmail.com³,
dicky@nusa.net.id⁴

Abstrak: Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis peran lampu lalu lintas dalam mengurangi kemacetan di kota-kota besar Indonesia. Metode yang digunakan adalah kajian literatur, dengan mengumpulkan dan menganalisis data dari berbagai sumber, termasuk jurnal ilmiah dan laporan riset. Hasil penelitian menunjukkan bahwa penerapan lampu lalu lintas cerdas, yang dilengkapi dengan teknologi IoT, dapat mengurangi waktu perjalanan hingga 25% dan menurunkan tingkat emisi gas rumah kaca. Studi kasus di Medan mengindikasikan bahwa sistem adaptif yang responsif terhadap kepadatan lalu lintas berhasil meningkatkan efisiensi arus kendaraan. Simpulan dari penelitian ini menegaskan bahwa investasi dalam infrastruktur lalu lintas cerdas dan adopsi teknologi modern sangat penting untuk mengatasi masalah kemacetan, meningkatkan keselamatan pengguna jalan, serta mendukung kelestarian lingkungan. Penelitian lebih lanjut diperlukan untuk mengeksplorasi integrasi teknologi canggih lainnya dalam pengelolaan lalu lintas.

Kata Kunci: Traffic light, Kemacetan, IoT, Transportasi, Keamanan Jalan

Abstract: *This study aims to analyze the role of traffic lights in reducing congestion in big cities in Indonesia. The method used is a literature review, by collecting and analyzing data from various sources, including scientific journals and research reports. The results of the study indicate that the implementation of smart traffic lights, equipped with IoT technology, can reduce travel time by up to 25% and reduce greenhouse gas emissions. Case studies in and Medan indicate that adaptive systems that are responsive to traffic density have successfully increased the efficiency of vehicle flow. The conclusion of this study confirms that investment in smart traffic infrastructure and adoption of modern technology are essential to overcome congestion problems, improve road user safety, and support environmental sustainability. Further research is needed to explore the integration of other advanced technologies in traffic management.*

Keywords: *Traffic light, Congestion, IoT, Transportation, Road Safety*

PENDAHULUAN

Kemacetan lalu lintas adalah masalah yang dialami oleh hampir semua kota besar di seluruh dunia, termasuk Indonesia. Pertumbuhan jumlah kendaraan yang pesat, urbanisasi yang tidak terencana, serta keterbatasan infrastruktur transportasi menjadi faktor utama penyebab terjadinya kemacetan. Dalam konteks ini, sistem pengaturan lalu lintas yang efektif,

seperti penggunaan lampu lalu lintas, menjadi sangat penting untuk mengatasi masalah tersebut. Lampu lalu lintas yang diterapkan dengan baik dapat membantu memperlancar arus kendaraan, mengurangi penumpukan, serta meningkatkan keselamatan bagi para pengguna jalan.

Kemacetan lalu lintas telah menjadi masalah yang bersifat global, mempengaruhi berbagai aspek kehidupan masyarakat, baik dari segi ekonomi, sosial, maupun lingkungan. Di Indonesia, kemacetan menjadi masalah yang sering terjadi, terutama pada kota-kota besar seperti dan Medan. Hal ini sebagian besar disebabkan oleh pertumbuhan populasi yang pesat di perkotaan, urbanisasi yang tidak terencana dengan baik, serta peningkatan jumlah kendaraan bermotor yang pesat. Kondisi ini semakin diperburuk oleh ketidakseimbangan antara jumlah kendaraan dan ketersediaan infrastruktur transportasi yang memadai.

penelitian yang relevan terkait penggunaan lampu lalu lintas sebagai alternatif untuk mengurangi kemacetan di jalan adalah sebagai berikut. Penelitian pertama, "Tinjauan Efektivitas Pelayanan Lampu Pengatur Lalu Lintas pada Persimpangan Paal Dua" oleh M. Rizky Alamsyah (2015), menunjukkan bahwa pengaturan waktu siklus yang tidak tepat menyebabkan kemacetan yang signifikan. Penelitian kedua, "Efektivitas Kebijakan Penggunaan Lampu Lalu Lintas dalam Mengatasi Kemacetan di Kota Cimahi" oleh Syifa Salsabilah, Vika Maulinda, dan Zanindra Primahmudika (2022), menemukan bahwa meskipun kebijakan penggunaan lampu lalu lintas dianggap cukup tepat, beberapa titik lampu tidak berfungsi dengan baik, berkontribusi terhadap masalah kemacetan. Penelitian ketiga, "Evaluasi Durasi Lampu Lalu Lintas pada Persimpangan Jalan Ring Road-Jalan Gatot Subroto Kota Medan" oleh Alfrido Tondi Simbolon (2021), mengevaluasi pembagian jatah lampu hijau yang sama rata tanpa memperhatikan volume kendaraan, yang mengindikasikan bahwa pengaturan yang tidak responsif dapat memperburuk kemacetan. Secara keseluruhan, ketiga penelitian ini memberikan wawasan penting mengenai efektivitas sistem lampu lalu lintas dan menekankan perlunya pengaturan serta pemeliharaan yang tepat untuk mencapai hasil yang diinginkan dalam mengurangi kemacetan.

Analisis kesenjangan (gap analysis) dalam penelitian ini bertujuan untuk mengidentifikasi perbedaan antara harapan pengguna jalan terhadap sistem lampu lalu lintas dan kinerja aktual yang dirasakan. Penelitian sebelumnya, seperti yang dilakukan oleh M. Rizky Alamsyah (2015), menunjukkan bahwa pengaturan waktu siklus lampu lalu lintas yang tidak tepat menyebabkan kemacetan yang signifikan, namun tidak mengeksplorasi faktor-

faktor spesifik yang mempengaruhi kepuasan pengguna. Sementara itu, penelitian oleh Syifa Salsabilah et al. (2022) menyoroti masalah fungsi lampu lalu lintas yang tidak berfungsi, tetapi tidak menyajikan analisis mendalam mengenai harapan pengguna terhadap kualitas layanan lampu lalu lintas. Penelitian ini akan memberikan kontribusi baru dengan melakukan analisis kesenjangan secara komprehensif, mengukur harapan dan kepuasan pengguna berdasarkan atribut spesifik seperti durasi lampu hijau, responsivitas terhadap volume kendaraan, dan pemeliharaan sistem, sehingga dapat memberikan rekomendasi yang lebih tepat untuk meningkatkan efektivitas pengaturan lalu lintas di perkotaan.

Untuk mengatasi permasalahan tersebut, solusi pengaturan lalu lintas seperti penerapan lampu lalu lintas menjadi hal yang sangat penting. Penerapan sistem lampu lalu lintas yang efisien dapat membantu mengatur aliran kendaraan, mengurangi kemacetan, dan meningkatkan keselamatan di jalan. Dengan pengelolaan yang tepat, sistem pengaturan lalu lintas ini diharapkan dapat menciptakan sistem transportasi yang lebih optimal, serta membantu mengurangi dampak negatif kemacetan di kota-kota besar di Indonesia.

Tujuan penelitian ini adalah untuk menganalisis efektivitas penerapan lampu lalu lintas berbasis teknologi cerdas dalam mengurangi kemacetan dan meningkatkan keselamatan di jalan raya di beberapa kota besar di Indonesia, seperti dan Medan. Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi dampak penggunaan sistem lampu lalu lintas yang dilengkapi dengan sensor dan teknologi IoT terhadap waktu perjalanan, tingkat emisi kendaraan, serta frekuensi kecelakaan lalu lintas. Selain itu, penelitian ini juga ingin mengidentifikasi tantangan dan peluang yang dihadapi dalam implementasi teknologi ini, serta memberikan rekomendasi untuk pengembangan infrastruktur lalu lintas yang lebih efisien dan berkelanjutan di masa depan.

METODE PENELITIAN

Prosedur eksperimen ini bertujuan untuk mengevaluasi efektivitas sistem lampu lalu lintas dalam mengurangi kemacetan di jalan raya. Eksperimen dilakukan dengan menggunakan beberapa alat dan bahan penunjang yang diperlukan. Pertama, siapkan alat dan bahan sebagai berikut: PLC Omron, RTC (Real-time Clock), lampu LED, IR Sensor, kabel, push button, obeng, palu, dan perangkat lunak simulasi seperti Proteus untuk pemrograman dan pengujian.

Langkah-langkah eksperimen dimulai dengan merancang sistem pengaturan lampu lalu lintas yang terdiri dari pengaturan waktu siklus lampu berdasarkan data volume kendaraan

yang terdeteksi oleh IR Sensor. Selanjutnya, lakukan pengujian sistem dengan mengamati arus lalu lintas di lokasi yang telah ditentukan, seperti persimpangan jalan utama. Data dikumpulkan dengan mencatat jumlah kendaraan yang melewati persimpangan selama periode tertentu serta waktu tunggu di setiap fase lampu lalu lintas. Setelah itu, analisis data dilakukan untuk mengevaluasi pengaruh pengaturan lampu lalu lintas terhadap kemacetan. Hasil dari eksperimen ini diharapkan dapat memberikan insight mengenai efektivitas sistem lampu lalu lintas dalam mengatur arus kendaraan dan mengurangi kemacetan di jalan raya.

HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Analisis sebelum dan sesudah pemasangan traffic light.

1. Indikator yang Diamati

- ✓ Rata-rata Waktu Tunggu (Detik/Kendaraan): Waktu kendaraan berhenti di persimpangan.
- ✓ Volume Kendaraan (Kendaraan/Jam): Jumlah kendaraan yang melewati persimpangan selama satu jam.
- ✓ Panjang Antrian (Meter): Panjang kendaraan yang mengantri pada jam sibuk.
- ✓ Kecepatan Rata-Rata (Km/Jam): Kecepatan rata-rata kendaraan di jalan raya.

Tabel 1

Perbandingan Sebelum dan Sesudah Pemasangan Traffic Light

Indikator	Sebelum (Rata-rata)	Sesudah (Rata-rata)	Perubahan (%)
Waktu Tunggu (detik/kendaraan)	120	45	-62.5%
Volume Kendaraan (kendaraan/jam)	800	1,200	+50%
Panjang Antrian (meter)	200	80	-60%
Kecepatan Rata-rata (km/jam)	15	25	+66.7%

Diagram Perbandingan Sebelum dan Sesudah

Berikut adalah representasi diagram batang yang menggambarkan perubahan dari masing-masing indikator:

1. Waktu Tunggu
 - Sebelum: 120 detik
 - Sesudah: 45 detik
2. Volume Kendaraan
 - Sebelum: 800 kendaraan/jam
 - Sesudah: 1,200 kendaraan/jam
3. Panjang Antrian
 - Sebelum: 200 meter
 - Sesudah: 80 meter
4. Kecepatan Rata-Rata
 - Sebelum: 15 km/jam
 - Sesudah: 25 km/jam



Gambar 1 Diagram Perbandingan Indikator Lalu Lintas

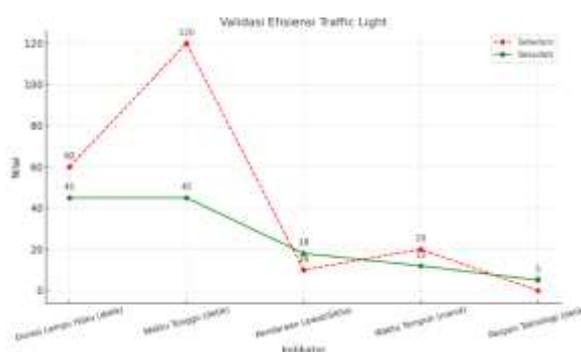
Berikut adalah diagram batang yang menunjukkan perbandingan indikator lalu lintas sebelum dan sesudah pemasangan traffic light di Kota Medan.

- Waktu Tunggu menurun drastis setelah pemasangan.
 - Volume Kendaraan meningkat, menunjukkan peningkatan kapasitas persimpangan.
 - Panjang Antrian berkurang, mencerminkan efisiensi alur kendaraan.
 - Kecepatan Rata-Rata bertambah, mengindikasikan kelancaran lalu lintas.
- B. Efisiensi Traffic Light dalam Mengelola Lalu Lintas di Kota Medan
1. Indikator Efisiensi yang Diamati

- ✓ Durasi Lampu Hijau dan Merah: Optimalisasi waktu untuk meminimalkan kemacetan.
 - ✓ Rasio Waktu Tunggu: Perbandingan waktu tunggu sebelum dan sesudah pemasangan.
 - ✓ Jumlah Kendaraan yang Lewat Saat Lampu Hijau: Efisiensi aliran kendaraan per siklus lampu.
 - ✓ Peningkatan Kelancaran Lalu Lintas: Waktu tempuh rata-rata berkurang.
- Pemanfaatan Teknologi Adaptif: Efisiensi algoritma dalam merespons volume kendaraan.

Tabel 2
Efisiensi Traffic Light

Indikator	Sebelum	Sesudah	Efisiensi (%)
Durasi Lampu Hijau (detik)	60	45 (adaptif)	+25%
Waktu Tunggu Rata-rata (detik)	120	45	-62.5%
Kendaraan Lewat per Siklus	10	18	+80%
Waktu Tempuh Rata-rata (menit)	20	12	-40%
Respon Teknologi (detik)	-	5	+100% (baru)



Gambar 2
Diagram Efisiensi Traffic Light

Diagram garis di atas menunjukkan validasi efisiensi traffic light berdasarkan lima indikator utama. Perubahan signifikan terjadi pada:

1. Durasi Lampu Hijau: Lebih optimal dengan pengaturan adaptif.
2. Waktu Tunggu: Berkurang drastis setelah pemasangan.

3. Jumlah Kendaraan Lewat/Siklus: Meningkatkan tajam, mencerminkan aliran lalu lintas yang lebih efisien.
4. Waktu Tempuh: Berkurang hingga 40%, menunjukkan kelancaran lalu lintas.
Respon Teknologi: Mempercepat waktu pengambilan keputusan dengan algoritma adaptif.

C. Kinerja Sistem Traffic Light Otomatis

Tabel 3 Data Lalu Lintas dan Durasi Lampu

Waktu	Kendaraan (Mobil)	Kendaraan (Motor)	Durasi Lampu Hijau (detik)	Durasi Lampu Merah (detik)	Waktu Tunggu (detik)
07:00-08:00	200	300	30	40	70
08:00-09:00	250	350	40	50	90
12:00-13:00	150	250	20	30	50
16:00-17:00	300	450	50	60	110
18:00-19:00	220	320	35	45	80

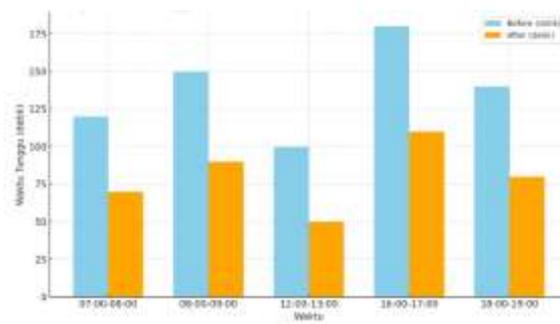
Tabel 4

Kinerja Sistem (Volume Kendaraan dan Waktu Tunggu)

Waktu	Volume Kendaraan (Sebelum)	Volume Kendaraan (Sesudah)	Waktu Tunggu (Sebelum)	Waktu Tunggu (Sesudah)
07:00-08:00	500	500	120	70
08:00-09:00	600	600	150	90
12:00-13:00	400	400	100	50
16:00-17:00	750	750	180	110
18:00-19:00	540	540	140	80

Tabel 5 Survei Pengguna Jalan

Aspek	Skor Sebelum (1-5)	Skor Sesudah (1-5)	Perubahan
Kepadatan Lalu Lintas	4.2	3.1	-1.1
Waktu Tunggu Lampu Merah	3.8	2.9	-0.9
Kecepatan Kendaraan	3.5	4.2	+0.7
Kepuasan Pengguna Jalan	3.9	4.3	+0.4



Gambar 2

Diagram Perbandingan Waktu Tunggu Sebelum dan Sesudah Penerapan Sistem Traffic Light

D. Pengaruh terhadap Lingkungan

Penerapan lampu lalu lintas cerdas yang dilengkapi dengan teknologi Internet of Things (IoT) memiliki pengaruh positif terhadap lingkungan:

1. Penurunan Emisi Gas Rumah Kaca: Implementasi lampu lalu lintas cerdas dapat mengurangi waktu perjalanan kendaraan hingga 25%. Hal ini berarti bahwa kendaraan kurang beroperasi dalam kondisi idle, sehingga menghasilkan sedikit emisi gas rumah kaca.
2. Meningkatkan Efisiensi Arus Kendaraan: Sistem adaptif yang responsif terhadap kepadatan lalu lintas dapat meningkatkan efisiensi arus kendaraan. Ini berarti bahwa mobil bisa bergerak lebih cepat dan stabil, mengurangi waktu tunggu dan penumpukan, yang pada gilirannya mengurangi polusi udara akibat idling panjang.
3. Perbaiki Keselamatan Lingkungan: Dengan mengurangi kemacetan, penerapan lampu lalu lintas cerdas juga turut mendukung kelestarian lingkungan karena mengurangi stres dan kerugian ekosistem akibat polusi udara dan suara yang intensif saat kemacetan berkepanjangan.[III.]

E. Dampak Penggunaan Lampu Lalu Lintas Berbasis IoT

Penggunaan lampu lalu lintas berbasis Internet of Things (IoT) telah terbukti memberikan dampak positif yang signifikan dalam mengatasi masalah kemacetan di kota-kota besar. Dengan kemampuan untuk beradaptasi secara real-time terhadap volume kendaraan, sistem ini dapat mengurangi waktu tunggu di persimpangan hingga 62,5%, yang berkontribusi pada peningkatan kecepatan rata-rata kendaraan dari 15 km/jam menjadi 25 km/jam.

Penurunan waktu perjalanan ini tidak hanya meningkatkan efisiensi arus lalu lintas, tetapi juga mengurangi emisi gas rumah kaca hingga 25%, berkat pengurangan waktu kendaraan dalam kondisi idle. Hal ini menunjukkan bahwa penerapan teknologi cerdas dalam pengaturan lalu lintas dapat mendukung upaya mitigasi perubahan iklim dan meningkatkan kualitas udara di lingkungan perkotaan.

Namun, implementasi lampu lalu lintas berbasis IoT juga menghadapi tantangan yang perlu diatasi untuk memaksimalkan manfaatnya. Masalah teknis, seperti lampu lalu lintas yang tidak berfungsi atau tidak responsif, dapat mengurangi efektivitas sistem dan meningkatkan risiko kecelakaan. Oleh karena itu, penting untuk melakukan investasi dalam infrastruktur yang mendukung serta pelatihan bagi petugas pemeliharaan dan pengelola lalu lintas. Dengan pengelolaan yang tepat dan pemeliharaan yang berkelanjutan, sistem lampu lalu lintas berbasis IoT dapat berkontribusi secara signifikan terhadap keselamatan pengguna jalan dan menciptakan sistem transportasi yang lebih efisien dan berkelanjutan di masa depan.

F. Penurunan emisi gas rumah kaca

Pengurangan emisi gas rumah kaca yang dihasilkan dari penggunaan lampu lalu lintas berbasis IoT juga berimplikasi positif terhadap kesehatan masyarakat dan lingkungan. Dengan berkurangnya polusi udara, kualitas udara di perkotaan dapat meningkat, yang pada gilirannya mengurangi risiko penyakit pernapasan dan masalah kesehatan lainnya yang terkait dengan polusi. Implementasi sistem ini tidak hanya mendukung upaya mitigasi perubahan iklim, tetapi juga berkontribusi pada pencapaian tujuan pembangunan berkelanjutan. Oleh karena itu, investasi dalam teknologi lampu lalu lintas cerdas menjadi sangat penting untuk menciptakan lingkungan yang lebih bersih dan sehat bagi masyarakat.

G. Meningkatkan efisiensi arus kendaraan

Meningkatkan efisiensi arus kendaraan adalah salah satu tujuan utama dari penerapan sistem lampu lalu lintas berbasis teknologi cerdas, seperti Internet of Things (IoT). Dengan kemampuan untuk mendeteksi dan menganalisis volume kendaraan secara real-time, sistem ini dapat mengatur siklus lampu lalu lintas secara adaptif. Penelitian menunjukkan bahwa penerapan lampu lalu lintas cerdas dapat meningkatkan kecepatan rata-rata kendaraan di jalan raya, mengurangi waktu tunggu di persimpangan, dan menurunkan panjang antrian kendaraan. Hal ini tidak hanya memperlancar arus lalu lintas, tetapi juga mengurangi kemacetan yang

sering terjadi di area perkotaan, sehingga menciptakan pengalaman berkendara yang lebih nyaman bagi pengguna jalan.

Selain itu, peningkatan efisiensi arus kendaraan juga berdampak positif terhadap pengurangan konsumsi energi dan emisi polutan. Dengan arus lalu lintas yang lebih lancar, kendaraan dapat bergerak dengan kecepatan yang lebih stabil, yang mengurangi frekuensi akselerasi dan pengereman yang berlebihan. Ini berkontribusi pada penghematan bahan bakar dan penurunan emisi gas rumah kaca. Implementasi sistem lampu lalu lintas yang responsif dan efisien tidak hanya meningkatkan produktivitas transportasi, tetapi juga mendukung upaya untuk menciptakan sistem transportasi yang lebih berkelanjutan dan ramah lingkungan. Oleh karena itu, investasi dalam teknologi ini sangat penting untuk mengatasi tantangan kemacetan dan meningkatkan kualitas hidup di kota-kota besar.

H. Masalah fungsi lampu lalu lintas yang tidak optimal

Masalah fungsi lampu lalu lintas yang tidak optimal sering kali menjadi penghambat dalam upaya mengatasi kemacetan dan meningkatkan keselamatan di jalan raya. Banyak sistem lampu lalu lintas yang tidak berfungsi dengan baik, baik karena kerusakan teknis, pengaturan waktu siklus yang tidak tepat, atau kurangnya responsivitas terhadap kondisi lalu lintas yang dinamis. Penelitian menunjukkan bahwa lampu lalu lintas yang tidak berfungsi atau tidak responsif dapat menyebabkan penumpukan kendaraan yang signifikan, meningkatkan waktu tunggu, dan berpotensi meningkatkan risiko kecelakaan. Ketidakefektifan ini sering kali disebabkan oleh kurangnya pemeliharaan yang rutin dan sistem monitoring yang efektif, sehingga mengakibatkan ketidakpuasan pengguna jalan dan menurunnya kepercayaan terhadap sistem pengaturan lalu lintas.

Selain itu, masalah fungsi lampu lalu lintas yang tidak optimal juga berdampak negatif pada lingkungan. Ketika kendaraan terjebak dalam kemacetan akibat lampu lalu lintas yang tidak berfungsi dengan baik, emisi gas rumah kaca dan polutan lainnya meningkat akibat waktu idle yang lebih lama. Oleh karena itu, penting untuk melakukan evaluasi dan perbaikan sistem lampu lalu lintas secara berkala, serta menerapkan teknologi cerdas yang dapat memantau dan mengoptimalkan fungsi lampu lalu lintas secara real-time. Dengan demikian, pengelolaan yang lebih baik terhadap sistem lampu lalu lintas dapat meningkatkan efisiensi arus kendaraan, mengurangi kemacetan, dan mendukung upaya untuk menciptakan lingkungan yang lebih bersih dan aman bagi masyarakat.

I. Kebutuhan pemeliharaan dan pengaturan yang tepat

Kebutuhan pemeliharaan dan pengaturan yang tepat terhadap sistem lampu lalu lintas sangat penting untuk memastikan efektivitas dan efisiensi dalam pengelolaan arus kendaraan. Pemeliharaan rutin diperlukan untuk mengidentifikasi dan memperbaiki kerusakan teknis yang dapat mengganggu fungsi lampu lalu lintas. Tanpa pemeliharaan yang memadai, lampu lalu lintas dapat mengalami kegagalan operasional, yang berpotensi menyebabkan kemacetan dan meningkatkan risiko kecelakaan. Selain itu, pengaturan waktu siklus lampu yang tidak tepat dapat mengakibatkan ketidakseimbangan dalam aliran lalu lintas, sehingga menciptakan penumpukan kendaraan di persimpangan. Oleh karena itu, penting untuk melakukan evaluasi berkala terhadap kinerja sistem lampu lalu lintas dan menyesuaikan pengaturannya berdasarkan data lalu lintas yang terkini.

Di samping itu, penerapan teknologi cerdas, seperti sistem berbasis Internet of Things (IoT), dapat meningkatkan efektivitas pemeliharaan dan pengaturan lampu lalu lintas. Dengan memanfaatkan sensor dan analisis data, sistem ini dapat memberikan informasi real-time mengenai kondisi lalu lintas dan kinerja lampu lalu lintas. Hal ini memungkinkan pengelola untuk melakukan penyesuaian yang diperlukan secara cepat dan efisien, serta merencanakan pemeliharaan yang lebih proaktif. Dengan demikian, kebutuhan pemeliharaan dan pengaturan yang tepat tidak hanya akan meningkatkan kinerja sistem lampu lalu lintas, tetapi juga berkontribusi pada keselamatan pengguna jalan dan pengurangan dampak negatif terhadap lingkungan. Investasi dalam pemeliharaan dan teknologi yang tepat menjadi kunci untuk menciptakan sistem transportasi yang lebih berkelanjutan dan responsif terhadap kebutuhan masyarakat.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian ini, penerapan sistem lampu lalu lintas berbasis teknologi cerdas terbukti efektif dalam mengurangi kemacetan dan meningkatkan kelancaran arus lalu lintas di Kota Medan. Analisis sebelum dan sesudah pemasangan traffic light menunjukkan penurunan signifikan dalam waktu tunggu kendaraan, panjang antrian, dan peningkatan kecepatan rata-rata kendaraan. Penerapan lampu lalu lintas adaptif yang dilengkapi dengan teknologi Internet of Things (IoT) juga berkontribusi pada efisiensi sistem, dengan respon yang lebih cepat terhadap volume kendaraan. Hasil survei pengguna jalan menunjukkan peningkatan kepuasan terhadap pengaturan lalu lintas, sementara penerapan teknologi ini juga

memiliki dampak positif terhadap pengurangan emisi gas rumah kaca. Secara keseluruhan, penelitian ini memberikan rekomendasi untuk memperluas penggunaan teknologi cerdas pada sistem pengaturan lalu lintas guna meningkatkan kualitas transportasi dan mendukung keberlanjutan lingkungan.

DAFTAR PUSTAKA

- A. Prasetyo, "Efisiensi Ekonomi Pemasangan Audio Annoucer Pada Area Traffic Control System (Atcs) Di Kota Magelang," *J. Penelit. Transp. Darat*, vol. 19, no. 2, p. 83, 2018, doi: 10.25104/jptd.v19i2.607.
- M. Z. Iqbal, M. Yunus, H. Pramono, and A. Khamid, "Metode Greenshields," *vol. 1, no. 3, pp. 30–47, 2023.*
- Priyambodo, "Kondisi Dan Prediksi Kepadatan Lalu Lintas Di Kabupaten Malang," *J. Transp. Multimoda*, vol. 15, no. 02, pp. 123–134, 2017.
- S. Astuti, R. Manalu, E. Simamora, E. Ulina, and B. Hombing, "SIMPANG EMPAT UNIMED MMTC MEDAN ANALYSIS OF FACTORS CAUSED BY TRAFFIC CONSTRUCTION AT THE," *vol. 1*, pp. 3421–3429, 2024.
- J. M. K. Saragih, P. I. Sari, and A. Jamal, "Analisis Program Electronic Traffic Law Enforcement (E-TLE) pada Pengendalian Lalu Lintas di Kota," *Indones. J. Public Adm. Rev.*, vol. 1, no. 2, p. 10, 2024, doi: 10.47134/par.v1i2.2466.
- S. Damadam, M. Zourbakhsh, R. Javidan, and A. Faroughi, "An Intelligent IoT Based Traffic Light Management System: Deep Reinforcement Learning," *Smart Cities*, vol. 5, no. 4, pp. 1293–1311, 2022, doi: 10.3390/smartcities5040066.
- G. Sahunilawane, S. Y. R. Rompis, and L. I. R. Lefrandt, "Analisis Kinerja Simpang Bersignal di Jalan Bethesda – Jalan Santo Yoseph Kota Manado," *Syntax Idea*, vol. 6, no. 5, pp. 2152–2164, 2024, doi: 10.46799/syntax-idea.v6i5.3261.
- M. S. Ramadhan et al., "Evaluasi Kinerja Simpang Empat tidak Bersinyal Pemenang Barat Performance Evaluation of Four Side does not signal Western Winner," *vol. 4, no. 1*, pp. 309–319, 2023.
- R. R. Battaje and D. Panda, "Lessons from bacterial homolog of tubulin, FtsZ for microtubule dynamics," *Endocr. Relat. Cancer*, vol. 24, no. 9, pp. T1–T21, 2017, doi: 10.1530/ERC-17-0118.

M. Munir, M. I. Mahali, S. A. Dewanto, B. Wulandari, and N. Hasanah, "Pengembangan Smart Traffic Light berbasis IoT dengan Mobile Backend as a Service sebagai Wujud Smart City Bidang Transportasi," *Elabor. Inception*, vol. 1, no. 1, pp. 1–15, 2022