

Prototipe *Smart Traffic Light* (STL) berdasar Panjang Antrian menggunakan *Internet of Things* (IoT)

Jihan Athira Ramadhani¹, Agus Urip Ari Wibowo², Muhammad Diono³

^{1,2,3}Program Studi, Magister Terapan Teknik Komputer, Politeknik Caltex Riau

Email: ¹Jihan22mttk@mahasiswa.pcr.ac.id, ²agus@pcr.ac.id, ³diono@pcr.ac.id

Correspondence Author Email: jjihan22mttk@mahasiswa.pcr.ac.id

Abstract- As an effort to regulate traffic, a Traffic Instruction Control Device (APIL) in the form of a Traffic Light is used. Traffic Lights are installed at various types of road intersections and crossing facilities. The function of traffic lights is very important so that traffic lights must be controlled as easily and efficiently as possible to facilitate traffic flow at a road intersection. However, after the use of Traffic Lights, there is still congestion due to the direction of vehicle arrivals from each lane not being simultaneous. This results in long queues in one of the Traffic Light lanes which makes the queue even longer due to the ineffectiveness of the red light duration of the existing Traffic Light. Therefore, researchers want to design a tool using 8 IR sensors as queue detection in each lane, then combining it with an automatic Traffic Light system can optimize the red and green lights according to the existing queue length. The results of the experiment found that in quiet conditions or no sensors detecting vehicles, the green light time is 20 seconds. When the condition of congestion 1 or the front IR sensor detects a vehicle, the green light time is increased by 5 seconds to 25 seconds. When traffic jam condition 2 or both IR sensors detect a vehicle, the green light is extended by 10 seconds to 30 seconds.

Keywords: Traffic Light, IR, Traffic Jam, Queue, APIL

Abstrak- Sebagai upaya dalam pengaturan lalu lintas digunakanlah Alat Pengatur Instruksi Lalu lintas (APIL) yang berupa Traffic Light. Traffic Light dipasang di berbagai jenis persimpangan jalan maupun sarana penyeberangan. Fungsi lampu lalu lintas sangatlah penting sehingga lampu lalu lintas harus dapat dikontrol semudah dan seefisien mungkin guna memperlancar arus lalu lintas di suatu persimpangan jalan. Namun setelah digunakan Traffic Light masih terdapat kepadatan yang diakibatkan tidak serentakannya arah datang kendaraan dari masing-masing jalur. Hal ini mengakibatkan terjadinya antrian panjang di salah satu jalur Traffic Light yang membuat antrian semakin panjang yang diakibatkan tidak efektifnya lama lampu merah dari Traffic Light yang ada. Maka dari itu peneliti ingin mendesain suatu alat menggunakan 8 sensor IR sebagai pendeteksi antrian di masing-masing jalur, kemudian menyatukan dengan sistem Traffic Light otomatis dapat dioptimasi lampu merah dan lampu hijau sesuai dengan panjang antrian yang ada. Hasil eksperimen menemukan bahwa pada kondisi sepi atau tidak ada sensor yang mendeteksi kendaraan maka waktu lampu hijau nya yaitu 20 detik. Saat kondisi kemacetan 1 atau sensor IR depan mendeteksi kendaraan, maka lampu hijau nya bertambah 5 detik menjadi 25 detik. Saat kondisi kemacetan 2 atau kedua sensor IR mendeteksi kendaraan, maka lampu hijau nya bertambah 10 detik menjadi 30 detik.

Keywords: Traffic Light, IR, kemacetan, antrian, APIL

1. PENDAHULUAN

Setiap tahun jumlah kendaraan yang ada di Indonesia selalu mengalami penambahan. Berdasar data yang dikutip dari Kompas.com. Puncak tertinggi dalam sejarah penjualan mobil di Indonesia pada tahun 2013 yaitu sebanyak 1.229.902 unit (Kompas.com). Menurut data dari Badan Pusat Statistik jumlah populasi kendaraan sampai dengan tahun 2013 sejumlah 104.118.969 dengan pertumbuhan jumlah kendaraan setiap tahunnya mencapai 1%. Saat ini diperkirakan sekitar 108 juta kendaraan di Indonesia (bps.go.id). Peningkatan jumlah kendaraan yang tidak diikuti dengan peningkatan luas jalan (infrastruktur) mengakibatkan kemacetan di kota-kota besar.

Sebagai upaya dalam pengaturan lalu lintas digunakanlah Alat Pengatur Instruksi Lalu lintas (APIL) yang berupa Traffic Light. Traffic Light dipasang di berbagai jenis persimpangan jalan maupun sarana penyeberangan. Berdasarkan hasil pengamatan lapangan pada saat jam sibuk, terutama pagi hari pada saat jam berangkat ke sekolah dan kantor serta sore hari pada saat jam pulang sekolah dan bekerja terjadi kemacetan di berbagai persimpangan jalan. Penumpukan kendaraan pada Traffic Light setiap persimpangan jalan terjadi sampai ratusan meter (Walean, 2019).

Traffic Light atau lampu lalu lintas merupakan lampu yang digunakan untuk mengatur kelancaran lalu lintas pada suatu persimpangan dengan cara memberi kesempatan pengguna jalan dari masing-masing arah untuk berjalan secara bergantian (Aria, 2017). Fungsi lampu lalu lintas sangatlah penting sehingga lampu lalu lintas harus dapat dikontrol semudah dan seefisien mungkin guna memperlancar arus lalu lintas di suatu persimpangan jalan. Saat ini sudah banyak jenis pengaturan lampu lalu lintas yang digunakan. Namun, masih terdapat banyak lampu lalu lintas menggunakan kabel bawah tanah untuk menghubungkan setiap lampu lalu lintas di setiap persimpangan dengan kontroler utamanya sehingga dibutuhkan kabel yang cukup panjang. Selain pengaturan lampu lalu lintas menggunakan kabel, terdapat juga pengaturan lampu lalu lintas menggunakan sistem nirkabel (wireless).

Untuk mengatasi permasalahan tersebut, Sistem lampu lalu lintas untuk menerapkan pendeteksi kendaraan sebelumnya telah diteliti oleh siswanya (siswanya, 2021), peneliti ini untuk menghasilkan inovasi pengatur lampu lalu lintas yang lebih akurat sehingga bisa mengatasi baik kemacetan lalu lintas, adapun sensor yang digunakan yaitu menggunakan sensor proximity sebagai pendeteksi kemacetan. Kemudian peneliti purwanda melakukan penelitian yang hampir serupa tetapi sensor yang digunakan yaitu sensor LDR (Purwanda, 2023). Akan tetapi penelitian tersebut masih belum dijalankan secara online serta data yang ada belum dapat dipantau dari jarak jauh.

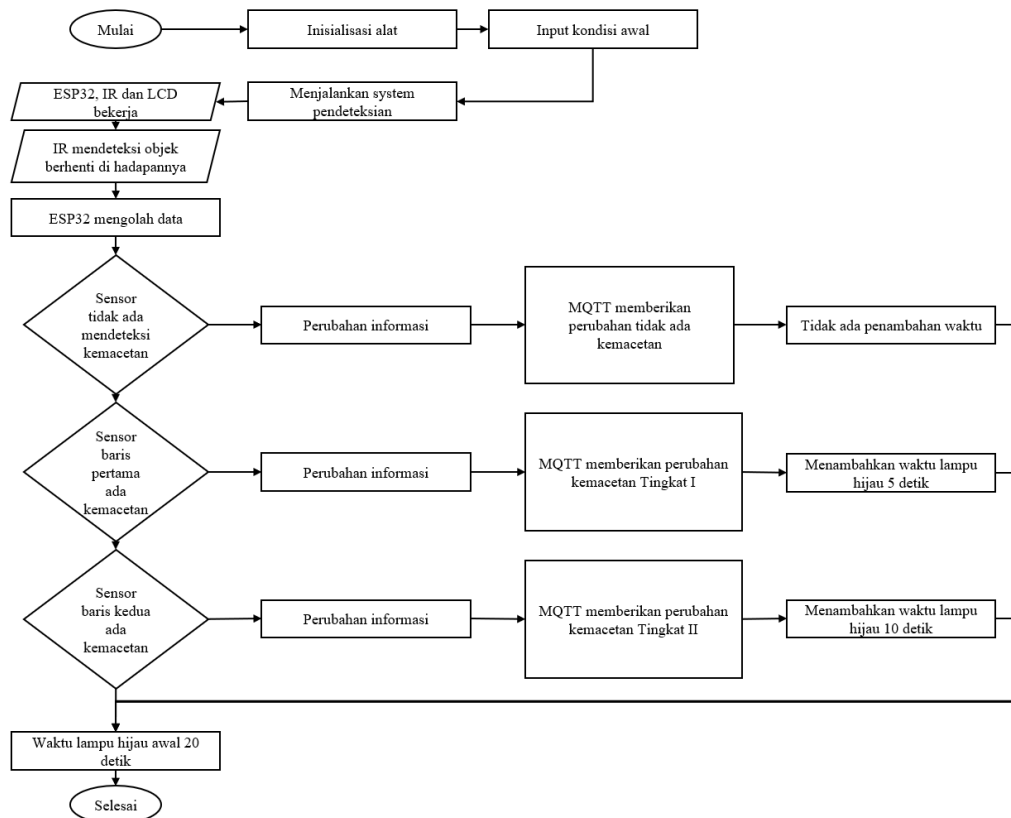
Sementara itu untuk pendeteksian kemacetan dengan penambahan waktu yang dikondisikan juga sudah di teliti oleh Alfith pada tahun 2019 (Alfith, 2019). Dengan menggunakan sensor LDR dan penambahan Timer sehingga kondisi lalu lintas dapat disesuaikan dengan tingkat kemacetan. Penelitian serupa juga diteliti oleh Reny pada tahun 2020 (Reny, 2020) dengan memaksimalkan pengaturan waktu yang lebih optimal dalam menangani tingkat kemacetan. Sistem lalu lintas pada persimpangan juga diteliti oleh Zulianti pada tahun 2021, zulianti lebih memfokuskan lalu lintas untuk kondisi darurat (Zulianti, 2021).

Sistem yang akan dibuat pada penelitian ini adalah Smart Traffic Light Berbasis Esp32. Smart Traffic Berbasis Esp32 adalah lampu lalu lintas yang dibuat dalam bentuk modul. Modul memiliki komponen yang terdiri dari satu mikrokontroler Esp32, tiga buah lampu LED yang terdiri dari satu LED merah, satu LED kuning dan satu LED hijau. Apabila modul hendak digunakan pada perempatan jalan, dibutuhkan empat LED yang ditempatkan pada setiap sisi jalan. Setiap LED yang digunakan memiliki karakteristik yang sama berupa tampilan fisik yang digunakan. Kelebihan dari hal ini yaitu memasang sensor IR di setiap persimpangan lalu lintas, sehingga memiliki optimasi persimpangan lebih efisien. Hal inilah yang menyebabkan modul lampu lalu lintas yang akan dibuat adalah modul yang 'smart'.

Berdasarkan pernyataan yang telah dipaparkan, peneliti mengambil topik penelitian yang berjudul "Prototipe Smart Traffic Light (STL) Berdasar Panjang Antrian Menggunakan Internet Of Things (IoT)" dengan harapan dapat mengurangi tingkat kepadatan dan dapat menginformasikan tingkat lalu lintas di simpang tiga tabek gadang.

2. METODE PENELITIAN

Flowchart system kerja dari prototipe *Smart Traffic Light* berbasis *IoT* untuk optimalisasi penanggulangan kepadatan dapat dilihat pada Gambar 1.

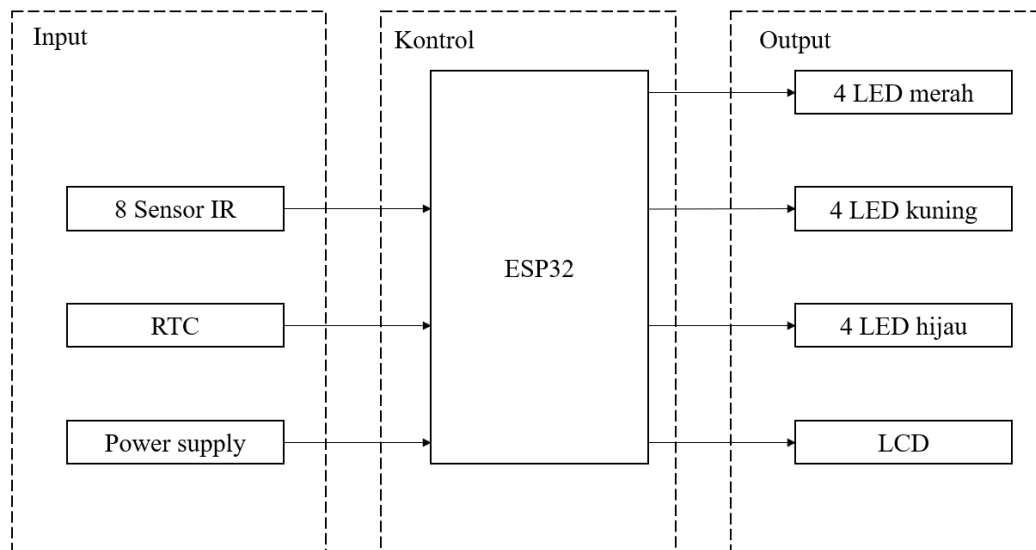


Gambar 1. Flowchart Sistem Kerja Alat

Perancangan system kerja alat dapat dilihat pada Gambar 1. Adapun parameter dan penjelasan *Flowchart* pada penelitian ini merupakan parameter yang sama pada masing-masing simpang yang meliputi :

1. Inisialisasi sensor yang digunakan, serta mengatur control melalui Arduino dan ESP32.
2. Pada saat 2 sensor IR tidak mendeteksi kendaraan, maka kondisi lalu lintas dikatakan normal dan lampu hijau akan dibuat tetap tanpa perubahan yaitu 20 detik.
3. Pada saat 1 sensor IR yang di depan mendeteksi kendaraan, maka kondisi lalu lintas dikatakan kepadatan Macet Tingkat I dan lampu hijau akan dibuat penambahan selama 5 detik dan total menjadi 25 detik.

Pada saat 2 sensor IR mendeteksi kendaraan, maka kondisi lalu lintas dikatakan Macet Tingkat II dan lampu hijau akan dibuat penambahan selama 10 detik dan total jalan menjadi 30 detik. Blok diagram penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 2.

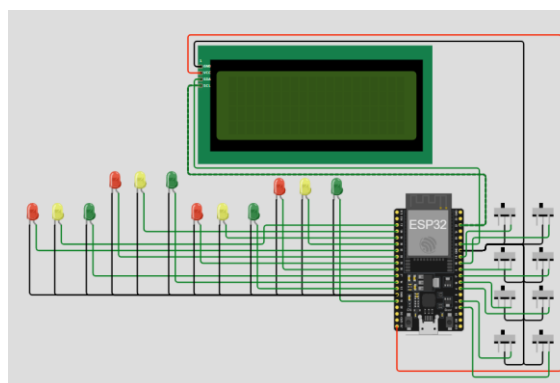


Gambar 2. Blok Diagram Penelitian

Berdasarkan blok diagram pada Gambar 2. menunjukkan input dan output dari penelitian ini. Adapun komponen yang digunakan sebagai input dan output pada penelitian ini sebagai berikut :

1. 8 Sensor IR digunakan sebagai input. Sensor IR digunakan untuk mendeteksi kepadatan, tiap simpang menggunakan 2 sensor IR sebagai pendeteksi kepadatan.
2. RTC digunakan sebagai input. RTC digunakan untuk mengatur waktu yang digunakan di dalam kontroller.
3. Power Supply digunakan sebagai input. Power Suplly digunakan untuk menyuplai tegangan pada ESP32.
4. ESP32 sebagai Kontrol. ESP32 adalah otak dari setiap komponen, ESP32 akan melakukan perintah pada masing-masing komponen berdasarkan program yang telah dimasukkan.
5. LED sebagai output digunakan sebagai tanda jalan kendaraan. Ketika LED berwarna merah, maka kendaraan berhenti, LED kuning menandakan hati-hati dan LED hijau menandakan jalan.
6. LCD sebagai output yang digunakan untuk melihat sisa lampu hijau pada masing-masing simpang.

Rangkaian lampu lalu lintas yang terdapat di dalam modul lampu lalu lintas dapat dilihat pada Gambar 3. Keempat modul lampu lalu lintas memiliki rangkaian dan konfigurasi pin yang sama.



Gambar 3. Rangkaian Sistem

ESP32 diberi catu daya melalui port USB. Tengan keluaran port I/O modul ESP32 sebesar 3.3 V. Tegangan keluaran port I/O digunakan untuk menyalakan lampu LED merah, lampu LED kuning dan lampu LED hijau. Besar arus tipikal yang digunakan untuk menyalakan LED adalah 20mA. Oleh karena itu, terdapat resistor yang dihubungkan seri terhadap lampu

LED yang berfungsi untuk membatasi arus pada lampu LED, rangkaian dilengkapi dengan dua buah sensor IR. Rangkaian penelitian di atas dibuat sebanyak empat jenis yang akan diletakkan di masing-masing simpang lalu lintas.

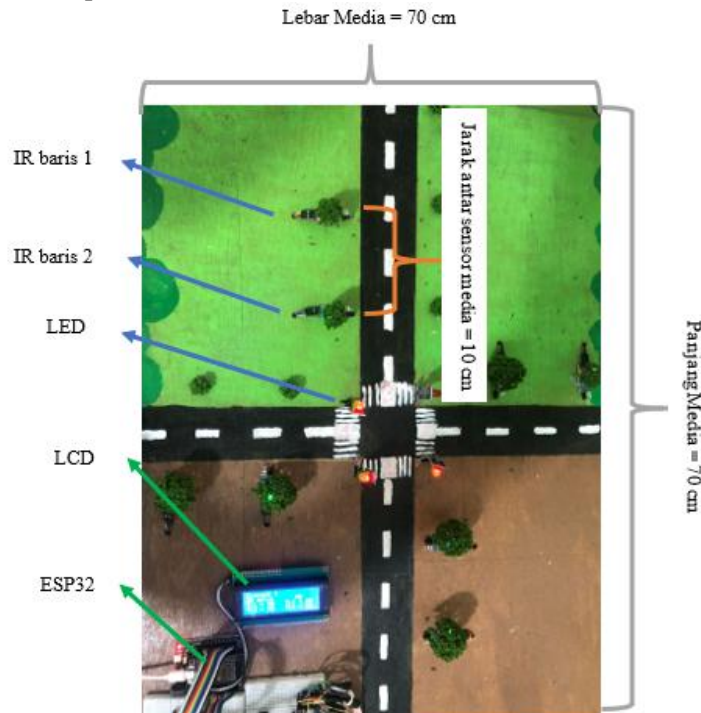
3. HASIL DAN DISKUSI

Berdasarkan perancangan mekalknik yang telah dilakukan, maka hasil perancangan dapat dilihat pada Gambar 4.



Gambar 4. Hasil Perancangan Mekanik

Gambar 4. merupakan hasil perancangan mekanik sistem secara keseluruhan. Secara rinci perancangan pemodelan sistem dapat dilihat pada Gambar 5.



Gambar 5. Hasil Perancangan Keseluruhan

Pada Gambar 5 Hasil perancangan alat berupa sistem terdiri dari model utama yaitu komponen elektrik, sensor IR sebagai pendeteksi kendaraan, LED sebagai lampu *Traffic Light* dan LCD sebagai interface jalur mana yang sedang berada di posisi jalan ataupun berhenti.

Hasil wawancara dengan pihak Dinas Perhubungan Kota menunjukkan bahwa pengaturan durasi lampu hijau idealnya tidak bersifat tetap, melainkan perlu disesuaikan secara dinamis berdasarkan kondisi aktual di lapangan, terutama pada simpang-simpang padat seperti Simpang Empat Jalan Durian. Salah satu indikator kemacetan yang mudah diterapkan dan terukur secara teknis adalah panjang antrian kendaraan. Dalam wawancara, diperoleh klasifikasi kondisi lalu lintas sebagai berikut:

1. Normal: Antrian kendaraan < 10 meter
2. Macet Tingkat I: Antrian kendaraan sekitar 10–30 meter
3. Macet Tingkat II: Antrian kendaraan > 30 meter

Skenario ini kemudian disimulasikan dalam prototipe *Smart Traffic Light (STL)* yang dibangun menggunakan sensor Infrared (IR) dan modul IoT (ESP32 + Arduino), dengan logika kontrol yang menyesuaikan durasi lampu hijau secara otomatis berdasarkan jumlah sensor yang aktif.

Skenario dilakukan dengan kondisi jalur 2 dan 3 berada pada kemacetan tingkat pertama, jalur 4 pada kemacetan tingkat kedua, jalur 1 dalam keadaan sepi, skenario ini adalah skenario di mana terjadi kemacetan tingkat pertama pada jalur 2 dan 3, terjadi kemacetan yang lebih padarah yaitu kemacetan tingkat kedua pada jalur 4. Kemacetan terjadi karena ada kendaraan yang berhenti pada sensor kemacetan pertama pada jalur 2 dan 3 sekaligus juga terjadi pendeteksian kendaraan pada jalur 4 sehingga sistem akan mendeteksi adanya kemacetan tingkat pertama pada jalur 2 dan 3 sekaligus kemacetan tingkat kedua pada jalur 4. Skenario pengujian ini dapat dilihat pada Gambar 6.



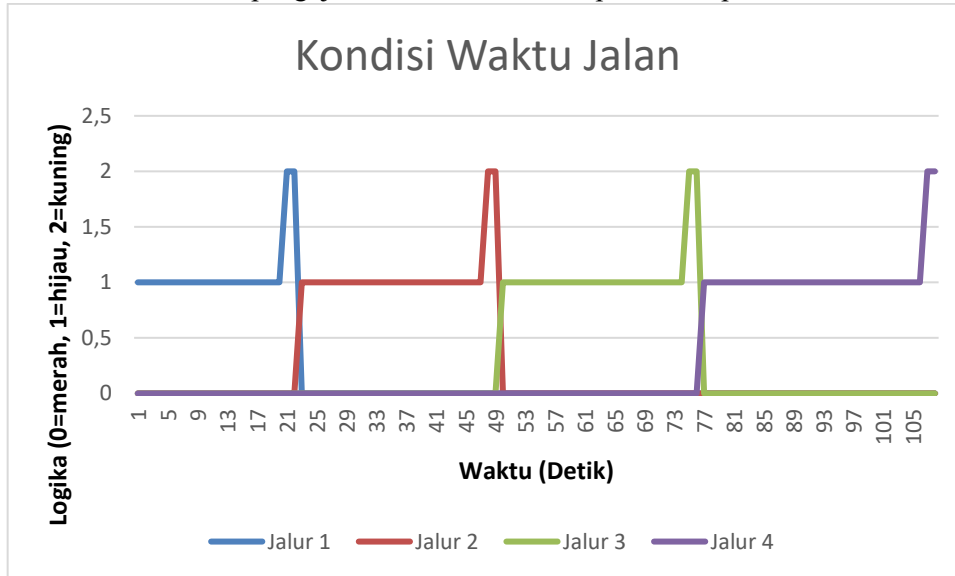
Gambar 6. Skenario Pengujian

Gambar 6 Menunjukkan bahwa jalur 2 dan 3 terjadi kemacetan tingkat 1, jalur 4 terjadi kemacetan tingkat kedua, jalur 1 dalam keadaan sepi, terdapat dua jalur yaitu jalur 2 dan 3 yang diamana ada kendaraan berhenti dan menunggu pada sensor kemacetan tingkat 1, sekaligus terdapat juga kendaraan yang berhenti dan menunggu pada sensor kemacetan tingkat kedua pada jalur 4. Hasil lampu merah dalam skenario ini dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Hasil Pengujian

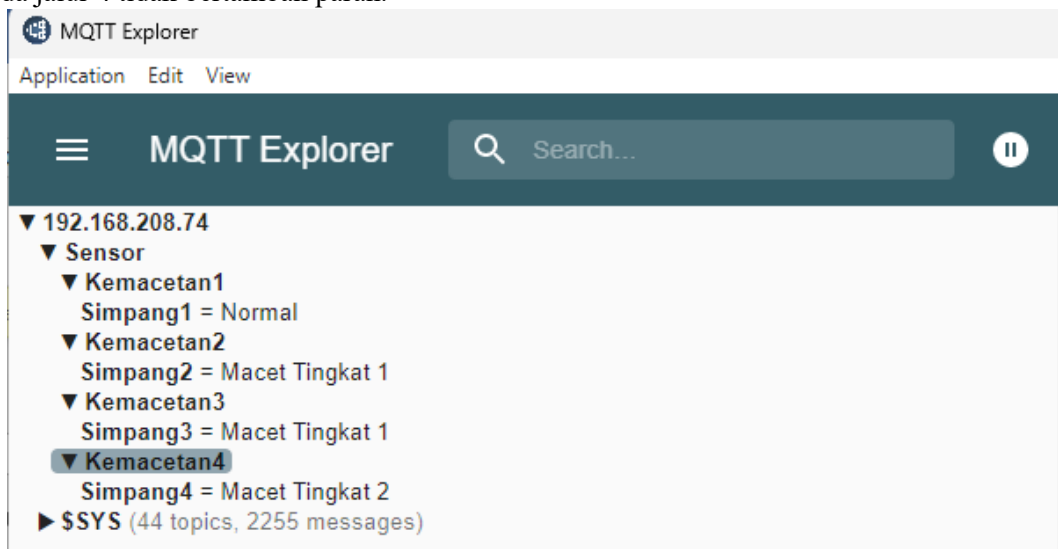
Jalur	Lalu Lintas	Lampu hijau (s)	Lampu merah (s)
Jalur 1	Sepi	20	80
Jalur 2	Kemacetan tingkat 1	25	75
Jalur 3	Kemacetan tingkat 1	25	75
Jalur 4	Kemacetan tingkat 2	30	70

Tabel 1 menjelaskan bahwa jalur 2 dan 3 terjadi kemacetan tingkat pertama sekaligus terjadi kemacetan tingkat kedua pada jalur 4, jalur 1 dalam keadaan sepi. Sehingga lampu hijau pada jalur 2 dan 3 menjadi lebih lama dengan total lampu hijau bernilai 25 detik kemudian lampu hijau pada jalur 4 lebih lama lagi dengan lampu hijau senilai 30 detik. Grafik hasil pengujian skenario kelima dapat dilihat pada Gambar 7.



Gambar 7. Grafik Hasil Pengujian Skenario Kelima

Gambar 7 Menunjukkan bahwa jalur 2 dan 3 dalam kondisi terjadi kemacetan tingkat pertama sekaligus jalur 4 dalam kondisi terjadi kemacetan tingkat kedua sementara itu jalur 1 masih dalam kondisi sepi. Hal ini membuat lampu hijau jalur 2 dan 3 menjadi lebih lama 5 detik dari jalur 1, kemudian jalur 4 lebih lama 10 detik dari jalur 1. Sehingga kemacetan tingkat pertama yang terjadi pada jalur 2 dan 3 serta kemacetan tingkat kedua pada jalur 4 tidak bertambah parah.



Gambar 8. Hasil MQTT

Sistem smart *Traffic Light* berbasis *IoT* menunjukkan adaptasi yang baik terhadap kondisi lalu lintas yang berbeda. Dengan adanya skenario mulai dari kondisi seluruh jalur sepi hingga kemacetan tingkat pertama dan kedua di beberapa jalur, sistem mampu mengalokasikan lampu hijau (green light) yang lebih lama untuk jalur-jalur dengan tingkat kemacetan lebih tinggi. Hal ini menunjukkan bahwa sistem berhasil mendeteksi kemacetan dan mengoptimalkan alokasi waktu.

Skenario 1 (seluruh jalur sepi): Semua jalur mendapatkan lampu hijau dan lampu merah yang sama (20 detik untuk lampu hijau dan 60 detik untuk lampu merah). Hal ini mencerminkan skenario dasar tanpa adanya beban lalu lintas.

Skenario 2-6: Ketika kemacetan terjadi pada satu atau lebih jalur, lampu hijau jalur-jalur yang macet bertambah (25-30 detik), sementara lampu merah pada jalur sepi meningkat. Sebagai contoh: Pada skenario 2, lampu hijau di jalur 4 meningkat menjadi 25 detik karena adanya kemacetan tingkat pertama. Pada skenario 6, jalur 3 dan 4 (kemacetan tingkat kedua) mendapat lampu hijau terpanjang (30 detik), sementara jalur 1 yang sepi harus menunggu lebih lama (85 detik). Pola ini menunjukkan bahwa sistem memberikan prioritas kepada jalur-jalur yang macet untuk mencegah penumpukan kendaraan lebih lanjut.

Dengan memanfaatkan sensor *IoT*, sistem mampu mendeteksi tingkat kemacetan (tingkat pertama atau kedua) secara akurat di setiap jalur. Hal ini ditunjukkan oleh perubahan lampu hijau yang disesuaikan dengan tingkat kemacetan yaitu : Kemacetan tingkat pertama, tambahan lampu hijau 5 detik dibanding jalur normal. Kemacetan tingkat kedua, tambahan lampu hijau hingga 10 detik dibanding jalur normal. Respons ini mencerminkan efisiensi sistem *IoT* dalam menangkap data real-time dan menyesuaikan durasi lampu lalu lintas.

Dalam setiap skenario, jalur yang sepi mengalami peningkatan lampu merah sebagai konsekuensi dari alokasi waktu lebih lama untuk jalur macet. Misalnya: Pada skenario 4 (kemacetan tingkat pertama di jalur 2, 3, dan 4), jalur 1 (sepi) memiliki lampu merah tertinggi (75 detik). Pada skenario 6 (kemacetan tingkat kedua di jalur 3 dan 4), jalur 1 harus menunggu hingga 85 detik. Hal ini menunjukkan adanya perubahan dalam pengelolaan waktu untuk menghindari kemacetan lebih parah di jalur sibuk.

Grafik hasil pengujian dan tampilan MQTT pada masing-masing skenario memberikan representasi visual yang jelas mengenai pola lampu hijau dan tunggu di setiap jalur. Grafik membantu memahami bagaimana sistem beradaptasi terhadap skenario tertentu, sedangkan MQTT menunjukkan data real-time yang digunakan untuk pengambilan keputusan.

Sistem smart *Traffic Light* berbasis *IoT* ini menunjukkan keberhasilan dalam mendeteksi dan menangani berbagai tingkat kemacetan di jalur lalu lintas. Penggunaan lampu hijau yang adaptif berdasarkan tingkat kemacetan memberikan solusi efektif untuk mengurangi risiko penumpukan kendaraan. Namun, ada dampak berupa peningkatan lampu merah di jalur sepi yang perlu diantisipasi untuk mencegah ketidakpuasan pengguna jalan.

Pada sub bab ini dilakukan analisa mendalam terhadap hasil implementasi dan pengujian sistem Smart *Traffic Light* (STL) berbasis Internet of Things (IoT) yang menggunakan panjang antrian sebagai parameter utama untuk mengatur waktu lampu hijau. Analisa ini mencakup keakuratan sistem dalam mendeteksi kondisi lalu lintas, efektivitas algoritma pengambilan keputusan, keandalan komunikasi perangkat, serta relevansi sistem terhadap kebutuhan aktual berdasarkan hasil wawancara dengan Dinas Perhubungan.

Sistem ini menggunakan dua buah sensor inframerah (IR) yang diposisikan secara strategis di jalur pendekat simpang. Deteksi kendaraan oleh sensor menjadi indikator panjang antrian yang kemudian dikategorikan menjadi tiga kondisi: normal, Macet Tingkat I, dan Macet Tingkat II.

1. Kondisi Normal (Kedua Sensor Tidak Aktif)

Dalam kondisi ini, tidak ada kendaraan yang melampaui titik deteksi sensor. Waktu lampu hijau tetap berada di angka dasar, yaitu 20 detik. Berdasarkan observasi selama simulasi, sistem secara konsisten mempertahankan durasi ini jika lalu lintas sepi atau terputus-putus, yang mengindikasikan kestabilan logika dasar sistem.

2. Kondisi Macet Tingkat I (Sensor 1 Aktif, Sensor 2 Tidak Aktif)

Ketika kendaraan hanya melewati sensor pertama, sistem menafsirkan ini sebagai antrian sepanjang kurang dari 30 meter. Lampu hijau ditambahkan 5 detik menjadi 25 detik. Penambahan ini terbukti cukup untuk mengurangi panjang antrian secara bertahap selama beberapa siklus lampu lalu lintas. Pengujian menunjukkan bahwa dengan 25 detik.

3. Kondisi Macet Tingkat II (Kedua Sensor Aktif)

Ketika antrian melebihi 30 meter dan terdeteksi oleh kedua sensor, waktu lampu hijau diperpanjang menjadi 30 detik. Dalam simulasi, kondisi ini sering terjadi saat arus kendaraan padat secara terus menerus. Peningkatan durasi lampu hijau memberikan efek signifikan dalam memperpendek antrian dan mengembalikan arus ke kondisi semi-normal dalam 3–4 siklus.

Kesimpulan awal: sistem responsif terhadap variasi kondisi lalu lintas, dan penyesuaian waktu lampu hijau secara otomatis mampu mengurangi kemacetan tanpa intervensi manual.

Meskipun prototipe Smart *Traffic Light* (STL) yang dikembangkan telah menunjukkan performa yang fungsional dan sesuai kebutuhan dasar di lapangan, namun sistem ini masih memiliki sejumlah keterbatasan baik dari segi teknis maupun struktural. Identifikasi kelemahan dilakukan berdasarkan hasil uji coba lapangan, simulasi logika sistem, dan umpan balik dari wawancara dengan pihak Dinas Perhubungan. Berikut adalah beberapa kelemahan utama:

1. Deteksi Panjang Antrian yang Terbatas
 - a. Sistem saat ini hanya menggunakan dua buah sensor IR yang diletakkan pada titik tetap. Dengan demikian, panjang antrian tidak diukur secara aktual dalam satuan meter, melainkan dibagi ke dalam kategori berdasarkan titik deteksi aktif.
 - b. Kelemahannya: sistem tidak mampu mengukur jumlah kendaraan secara presisi atau memberikan data numerik mengenai panjang antrian.
 - c. Dampaknya: respon sistem terbatas pada 3 level (normal, padat I, padat II), padahal kondisi lalu lintas dapat lebih kompleks dan dinamis.
2. Ketergantungan pada Sensor IR
 - a. Sensor IR memiliki keterbatasan dalam kondisi lingkungan tertentu, seperti:
 - Sinar matahari langsung
 - Hujan deras atau kabut
 - Permukaan kendaraan yang tidak memantulkan sinyal secara optimal
 - b. Kelemahannya: menurunkan akurasi deteksi, sehingga ada risiko sistem salah mengklasifikasikan kepadatan lalu lintas.
3. Belum Terintegrasi Secara Real-Time dengan Backend Monitoring
 - a. Sistem belum dikembangkan untuk mengirimkan data ke cloud server atau dashboard pemantauan.
 - b. Kelemahannya: keterbatasan untuk dimonitor oleh pihak Dishub secara pusat; seluruh keputusan dibuat oleh ESP32 secara lokal (standalone).
 - c. Dampaknya: sulit melakukan evaluasi jangka panjang atau pengawasan terpusat.
4. Tidak Mengakomodasi Semua Arah Jalur
 - a. Prototipe hanya mendeteksi kondisi dari satu jalur pendekat.
 - b. Kelemahannya: sistem tidak mempertimbangkan kepadatan dari arah lain (jalur menyilang), padahal setiap simpang memiliki banyak pendekat.
 - c. Dampaknya: distribusi waktu lampu hijau berpotensi tidak adil dan menyebabkan bottleneck di jalur lain.
5. Tidak Adaptif terhadap Situasi Khusus
 - a. Sistem tidak mengenali kendaraan prioritas seperti ambulans, pemadam kebakaran, atau kendaraan umum (busway).
 - b. Sistem juga belum mempertimbangkan kondisi darurat, kecelakaan, atau jalan ditutup.
 - c. Kelemahannya: sistem belum memiliki *situational awareness* yang kompleks seperti dalam sistem *Adaptive Traffic Control* berbasis AI.

Berdasarkan kelemahan-kelemahan yang teridentifikasi, pengembangan sistem diarahkan pada tiga domain: teknologi deteksi, logika kontrol, dan sistem integrasi. Tujuan pengembangan adalah meningkatkan akurasi, skalabilitas, dan interoperabilitas sistem dengan infrastruktur Dishub serta potensi perluasan ke dalam ekosistem Smart City.

4. CONCLUSION

Berdasarkan penelitian yang dilakukan sistem yang dikembangkan mampu mendeteksi panjang antrian kendaraan pada persimpangan lampu lalu lintas, sistem menggunakan sensor IR sebagai pendeteksian panjang antrian, sehingga dapat memberikan informasi kondisi lalu lintas secara akurat. Hal ini memungkinkan pengelolaan lalu lintas yang lebih efisien dengan menyesuaikan durasi lampu hijau berdasarkan kepadatan kendaraan. Dari sisi Dishub, keberadaan sistem ini memiliki relevansi yang tinggi dengan kebutuhan di lapangan, khususnya dalam mendukung strategi manajemen lalu lintas berbasis teknologi. Dengan sistem yang mampu melakukan monitoring real-time, Dishub berpotensi memperoleh data akurat terkait pola kepadatan kendaraan di setiap persimpangan. Data tersebut dapat menjadi dasar dalam pengambilan keputusan, evaluasi kebijakan lalu lintas, serta perencanaan infrastruktur ke depan

REFERENCES

- [1.] (Agung K., 2014. “Penjualan Mobil di Indonesia 1.22 Juta Unit” <https://otomotif.kompas.com/read/xml/2014/01/03/1008443/2013.Penjualan.Mobil.di.Indonesia.1.22.Juta.Unit>”, diakses pada agustus 2023.
- [2.] Alfith, A., & Kartiria, K. (2019). Pengembangan Perancangan Smart Traffic Light Berbasis LDR Sensor Dan Timer Delay System. *Jurnal Teknik Elektro*, 8(1), 35-39.
- [3.] Aria and R. Faizal, 2017, “Sistem Lalu Lintas Terpadu Embedded Traffic System,” *Telekontran*, vol. 5, no. 2, pp. 83–93.
- [4.] Aryaviocholda, F., Ichsan, M. H. H., & Budi, A. S. (2020). Rancangan Sistem Pendeteksi Pencurian Helm Menggunakan Protokol MQTT Dan Bluetooth HC-05 Berbasis Arduino. *Jurnal Pengembangan Teknologi Informasi dan Ilmu Komputer*, 4(2), 517-525.
- [5.] Bagus, I. (2022). Pengembangan Smart Traffic Light Berbasis IoT Dengan Mobile Backend As A Service Sebagai Wujud Smart City Bidang Transportasi. *Jurnal Portal Data*, 2(10).
- [6.] Hozanna, G., Nur, D., & Kasim, K. (2021, October). Sistem Monitoring Dan Controlling Lampu Lalu Lintas Berbasis Wireless Sensor Network Menggunakan Lora. In *Seminar Nasional Teknik Elektro dan Informatika (SNTEI)* (pp. 223-228).
- [7.] Indonesia. (2009). Undang-Undang Nomor 22 Tahun 2009 tentang Lalu Lintas dan Angkutan Jalan. Lembaran Negara Republik Indonesia Tahun 2009 Nomor 96.
- [8.] Intan, J., & Gunawan, I. R. (2019). Traffic Light Automation Berbasis Arduino Menggunakan RF Transceiver Untuk Kendaraan Prioritas. *Seminastika*, 2, 122-29.
- [9.] Jamal, J., & Thamrin, T. (2021). Sistem Kontrol Kandang Ayam Closed House Berbasis Internet Of Things. *Voteteknika (Vocational Teknik Elektronika dan Informatika)*, 9(3), 79-90.
- [10.] Jatmika, S., & Andiko, I. (2014). Simulasi pengaturan lampu lalu lintas berdasarkan data image processing kepadatan kendaraan berbasis mikrokontroler atmega16. *Jurnal Ilmiah Teknologi dan Informasi ASIA*, 8(2).
- [11.] Kepolisian Republik Indonesia (2024) “Perkembangan Jumlah Kendaraan Bermotor Menurut Jenis (Unit), 2021-2022” <https://www.bps.go.id/indicator/17/57/1/jumlah-kendaraan-bermotor.html>” diakses pada agustus 2023.
- [12.] Khawas, F. A. (2022). Analisis Kinerja Topologi Wireless Sensor Network Untuk Aplikasi Kelembapan Tanah Perkebunan Kentang (Doctoral dissertation, Universitas Komputer Indonesia).
- [13.] Kurniawan, R. (2019). Perancangan Sistem Penerangan Lampu Otomatis Dengan Menggunakan Sensor Proximity Berbasis Plc Omron Cplc E20sdra (Doctoral dissertation, Politeknik Negeri Sriwijaya).
- [14.] Muda, I. (2013). *Elektronika Dasar*. Gunung Samudera [PT Book Mart Indonesia].
- [15.] Nirwanda, N., Yenni, H., Anam, M. K., & Lathifah, L. (2023). Prototype Smart Time Scheduler Lampu Lalu Lintas Menggunakan Algoritma Haar Cascade. *Jurnal Teknoinfo*, 17(1), 328-341.
- [16.] Romli, I., Hugo, K. L. N., & Afriantoro, I. (2021). Perancangan Dan Implementasi Smart Garden Berbasis Internet of Things (Iot) Pada Perumahan Central Park Cikarang. *Indonesian Journal of Business Intelligence (IJUBI)*, 4(2), 42-52.
- [17.] Saputro, A. D. (2020). Rancang bangun robot pendeteksi kadar gas sulfur dioksida (so₂) dan gas karbon monoksida (co) untuk eksplorasi kawah ijo objek wisata candi gedong songo berbasis Internet Of Things. Universitas Islam Negeri Walisongo Semarang.
- [18.] Siswaya, N. R. (2021). Prototype Smart Traffic Light Otomatis Berbasis Atmega-328 dengan Sensor Jarak. *Jurnal JE-UNISLA: Electronic Control, Telecommunication, Computer Information and Power System*, 4(2), 265-268.
- [19.] Taufiq, R. M., Sunanto, S., & Rizki, Y. (2020). Integrated Smart Traffic Control System Menuju Pekanbaru Sebagai Smart City. *JURTEKSI (Jurnal Teknologi dan Sistem Informasi)*, 7(1), 67-74.
- [20.] Zabar, A. A., & Novianto, F. (2015). Keamanan Http Dan Https Berbasis Web Menggunakan Sistem Operasi Kali Linux. *Komputa: Jurnal Ilmiah Komputer dan Informatika*, 4(2), 69-74.
- [21.] Zulianti, F., Munadi, R., & Santoso, I. H. (2021). Smart Traffic Light Berbasis Internet Of Things Pada Keselamatan Ambulans. *eProceedings of Engineering*, 8(5).
- [22.] Putriani, S. P. Sitorus, A. Karim, and R. Pane, “Implementasi Robotik Pendeteksi Kebocoran Gas dan Kebakaran di Rumah Tangga,” *Prosiding Seminar Nasional Teknologi Komputer dan Sains*, vol. 3, no. 1, pp. 165–180, Jul. 2025, Accessed: Mar. 28, 2026. [Online]. Available: <https://prosiding.seminars.id/prosainteks/article/view/409>
- [23.] A. M. Daulay, A. Karim, Rohani, and I. Purnama, “Sistem Kontrol Lampu Otomatis Menggunakan Kartu RFID Berbasis Arduino | Prosiding Seminar Nasional Teknologi Komputer dan Sains.” Accessed: Mar. 28, 2026. [Online]. Available: <https://seminars.id/prosiding/prosainteks/article/view/472>