

Prototipe Lampu Lalu Lintas dengan Pengendalian Jarak Jauh Berbasis Internet of Things (IoT)

Samhari¹, Oktriza Melfazen², Anang Habibi³

¹Teknik Elektro Universitas Islam Malang

^{2,3} Teknik Elektro Universitas Islam Malang

samhari648@gmail.com, oktriza.melfazen@unisma.ac.id, ananghabibi@unisma.ac.id

Abstract

Traffic lights should be a very important component in the traffic control system, especially at road junctions. Traffic light settings in Indonesia apply the Indonesian Highway Capacity Manual method. In this method, traffic light settings are determined by fixed time. In this study an attempt was made to create a prototype of a traffic light system that combines remote monitoring and manual adjustment. Monitoring is carried out by sending information via the internet network in the form of video from an IP camera module installed at an intersection, while remote control is carried out by configuring it through an IoT (internet of things) based internet network. All media to connect to the network will use wireless, namely through WiFi media that is connected to the hotspot available at the location.

Keywords— *traffic lights, internet of things, remote controlling.*

Abstraks

Lampu lalu lintas seharusnya menjadi komponen yang sangat penting dalam sistem pengaturan lalu lintas terutama pada persimpangan jalan. Pengaturan lampu lalu lintas di Indonesia menerapkan metode Manual Kapasitas Jalan Indonesia (MKJI). Dalam metode tersebut pengaturan lampu lalu lintas ditentukan secara waktu tetap (fixed time). Dalam penelitian ini dicoba dibuat sebuah purwarupa sistem lampu lalu lintas yang menggabungkan antara monitoring dan pengaturan manual jarak jauh. Monitoring dilakukan dengan mengirimkan informasi melalui jaringan internet berupa video dari modul IP camera yang terpasang di sebuah persimpangan, sedangkan pengaturan jarak jauh dilakukan dengan konfigurasi melalui jaringan internet berbasis IoT (internet of things). Semua media untuk terkoneksi ke jaringan akan menggunakan nirkabel, yaitu melalui media WiFi yang disambungkan pada hotspot yang tersedia di lokasi.

Kata Kunci— *lampu lalu lintas, internet of things, pengendali jarak jauh.*

I. PENDAHULUAN

Kemacetan telah menjadi masalah utama di kota besar di Indonesia. Salah satu titik rawan yang menyebabkan kemacetan adalah pada persimpangan jalan. Lampu lalu lintas seharusnya menjadi komponen yang sangat penting dalam sistem pengaturan lalu lintas terutama pada persimpangan jalan. Pengaturan lampu lalu lintas di Indonesia menerapkan metode Manual Kapasitas Jalan Indonesia (MKJI). Dalam metode tersebut pengaturan lampu lalu lintas ditentukan secara waktu tetap (*fixed time*).

Kekurangan dari pada metode tersebut adalah data yang tidak diperbaharui secara berkala, karena tidak dapat menangani jika ada perubahan jumlah kendaraan pada ruas jalan. Jika terdapat perubahan jumlah kendaraan yang sangat tajam dan tidak ada pembaharuan data maka akan menimbulkan waktu tunggu yang semakin lama. Sehingga pada saat jam-jam sibuk masih terjadi kemacetan dan penumpukan antrian kendaraan yang panjang.

Terdapat dua jenis sistem dalam pengaturan lampu lalu lintas, yakni dengan sistem *Automatic Traffic Control System* (ATCS) sebagai sistem pengendali otomatis berbasis *network* dan *stand-alone* sebagai sistem pengendali di setiap lokasi lampu lalu lintas yang

diatur oleh petugas secara terpisah. Namun kedua sistem tersebut memiliki kendala seperti pada pembangunan sistem jaringan kabel yang rumit diterapkan pada sistem berbasis *network* dan sistem *stand-alone* dengan masalah pada pengaturannya yang harus datang ke lokasi. Menggunakan jaringan nirkabel merupakan solusi yang tepat karena menggunakan gelombang radio untuk saling berkomunikasi dan pemasangan cukup mudah serta dapat menjangkau area geografis yang cukup luas.

Oleh karena itu, pada penelitian ini akan dicoba dibuat sebuah purwarupa sistem lampu lalu lintas yang menggabungkan antara monitoring dan pengaturan manual jarak jauh. Monitoring dilakukan dengan mengirimkan informasi melalui jaringan internet berupa video dari modul *IP camera* yang terpasang di sebuah persimpangan, sedangkan pengaturan jarak jauh dilakukan dengan konfigurasi melalui jaringan internet berbasis IoT (*internet of things*). Semua media untuk terkoneksi ke jaringan akan menggunakan nirkabel, yaitu melalui media WiFi yang disambungkan pada *hotspot* yang tersedia di lokasi.

Berdasarkan latar belakang tersebut, maka dirumuskan beberapa masalah, antara lain:

1. Bagaimana hasil pengembangan sebuah perangkat purwarupa miniatur sistem lampu

lalu lintas yang mengimplementasikan monitoring dan pengaturan jarak jauh.

2. Bagaimana hasil pengujian terhadap perangkat purwarupa miniatur yang telah dikembangkan.

Berdasarkan latar belakang dan rumusan masalah sebelumnya, maka tujuan penelitian ini ditentukan sebagai berikut:

1. Mengembangkan sebuah perangkat purwarupa miniatur sistem lampu lalu lintas yang mengimplementasikan monitoring dan pengaturan jarak jauh.
2. Melakukan pengujian terhadap perangkat purwarupa miniatur yang telah dikembangkan.

Batasan masalah dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Perangkat purwarupa miniatur yang dikembangkan meniru model perempatan (simpang empat) dengan pemisahan antara jalur belok kiri, lurus, dan belok kanan.
2. Komunikasi jarak jauh untuk monitoring dilakukan menggunakan basis IP camera, sedangkan komunikasi untuk pengaturan dilakukan menggunakan basis IoT. Layanan IoT yang digunakan adalah Blynk.
3. Komponen utama pada perangkat purwarupa miniatur meliputi papan mikrokontroler Arduino Mega 2560, NodeMCU ESP-12E, dan IP camera.
4. Koneksi pada jaringan internet dilakukan menggunakan WiFi, dan diasumsikan pada lokasi perempatan sudah terdapat layanan hotspot yang terhubung dengan jaringan internet.

Pada tahun 2019, Andi Machdani, *et.al*, melakukan sebuah penelitian yang dipublikasikan dengan judul “Sistem Kontrol Lampu Lalu Lintas Untuk Layanan Darurat Berbasis *Internet of Things* (IoT)”. Pada penelitian tersebut, dirancang purwarupa sistem lampu lalu lintas untuk meminimalisir terjadinya antrian pada mobil ambulan. Lampu lalu lintas berjalan normal, namun jika ada ambulan yang melintas dan terjadi antrian maka lampu lalu lintas tersebut dapat dikontrol oleh pengemudi ambulan. Dari hasil pengujian didapatkan bahwa purwarupa tersebut mampu mengontrol lampu lalu lintas dengan tingkat keberhasilan 90,6% [1].

Usman, *et.al*, melakukan penelitian dan memublikasikannya pada tahun 2020 dengan judul “Rancang Bangun *Traffic Light* Sistem Tanggap Darurat Berbasis IoT”. Tujuan penelitian tersebut yaitu diharapkan dapat menghasilkan suatu rancang bangun sistem lampu lalu lintas yang memanfaatkan IoT dan sensor suara terhadap kepadatan kendaraan yang berada di persimpangan jalan baik simpang tiga atau simpang empat agar kelancaran lalu lintas kendaraan dapat diatur dan kendaraan darurat (ambulan, mobil pemadam kebakaran, atau pejabat) dapat melewatinya dengan tepat waktu [2].

Pada tahun 2021, Catur Pandoyo, *et.al*, merancang sebuah purwarupa lampu lalu lintas pintar dan memublikasikan penelitian tersebut dengan judul “Perancangan Purwarupa Lampu Lalu Lintas Pintar untuk Kendaraan Pemadam Kebakaran Menggunakan *Internet of Things*”. Dalam perancangan tersebut digunakan beberapa alat untuk membantu, seperti: layanan Firebase, ESP8266, aplikasi android, dan layanan GPS. Hasil pengujiannya adalah lampu lalu lintas berhasil berubah secara *real time* dengan jarak pengaturan 150 meter. Pada pengujian tersebut didapatkan hasil nilai jarak dari 10 kali percobaan setiap jalur dengan nilai berubah rata rata jalur 1 (133,39 meter), jalur 2 (127,47 meter), jalur 3 (136,34 meter), jalur 4 (126,45 meter), dan jalur 5 (127,38 meter). Nilai penyimpangan rata-rata yang terjadi adalah 19,794 meter sampai pada titik lampu lalu lintas [3].

Pada tahun 2021, Gabril Hozanna, *et.al*, membuat penelitian berjudul “Sistem *Monitoring* dan *Controlling* Lampu Lalu Lintas Berbasis *Wireless Sensor Network* Menggunakan LoRa”. Penelitian tersebut dilakukan untuk menangani masalah lama waktu pergantian lampu lalu lintas dengan menggunakan LoRa. Pada penelitian tersebut digunakan sensor PIR dengan transmisi LoRa yang berperan untuk mendeteksi kepadatan kendaraan, LoRa *gateway* sebagai *transceiver* data dan menggunakan protokol MQTT untuk komunikasi WSN *node* ke *server*. Berdasarkan hasil penelitian dihasilkan perangkat untuk mengontrol pergantian lampu lalu lintas secara otomatis berdasarkan kepadatan kendaraan. Jeda waktu untuk nilai rata-rata dari jumlah keseluruhan jeda waktu pergantian lampu adalah 84,6 detik. Jarak jangkauan akan mempengaruhi performa pengiriman dan penerimaan data. Semakin jauh jangkauan pengiriman dan penerimaan data semakin kecil nilai RSSI dan SNR yang dihasilkan. Maksimal paket data yang dikirimkan dari *node* sensor ke LoRa *gateway* adalah 122 byte sedangkan untuk maksimal pengiriman paket data dari *server* ke *node* aktuator dalam hal ini prototipe lampu lalu lintas adalah 245 byte [4].

Phisca Aditya Rosyady, *et.al*, melakukan penelitian pada tahun 2022 dengan judul “*Prototype* Lampu Lalu Lintas Adaptif Berdasarkan Panjang Antrian Kendaraan Berbasis Arduino Uno”. Tujuan penelitian tersebut adalah untuk membuat rancangan sistem lampu lalu lintas adaptif berdasarkan panjang antrian kendaraan pada setiap ruas jalan dan melakukan pengujian rancangan simulasi pengendalian lampu lalu lintas berdasarkan panjang antrian kendaraan pada setiap ruas jalan. Penelitian ini menggunakan Arduino UNO sebagai mikrokontroler dan sensor deteksi infra merah. Pembacaan sensor akan mendeteksi kondisi dari masing-masing jalan yang selanjutnya akan dikirimkan ke mikrokontroler dan diproses dalam menentukan durasi dari masing-masing penyalan lampu lalu lintas. Hasil penelitian ini menunjukkan sistem lampu lalu lintas yang dirancang dapat mengendalikan lampu lalu lintas berdasarkan panjang antrian kendaraan pada masing-masing ruas jalan. Adapun dalam pengujian sistem mendapatkan nilai *error* sebesar 0,00404% untuk durasi

lampu hijau, 0,00917% untuk durasi lampu kuning, dan 0,0217% untuk durasi lampu merah. Berdasarkan hasil rancangan tersebut, diharapkan adanya pengembangan dengan menggunakan mikrokontroler yang memiliki pin masukan dan keluaran lebih banyak sehingga dapat mendeteksi kepadatan pada ruas jalan dengan lebih akurat [5].

Dalam beberapa penelitian terdahulu, telah dilakukan pembangunan purwarupa lampu lalu lintas dengan menggunakan berbagai metode dan media. Dalam penelitian kali ini, akan dicoba untuk mengembangkan sistem pengaturan lampu lalu lintas pada perempatan yang memiliki keunggulan baru, antara lain:

1. Setiap ruas jalan memiliki lampu lalu lintas yang independen dan dapat diatur secara mandiri untuk jalur berbelok kiri, jalur lurus, dan jalur berbelok kanan.
2. Pengaturan bisa dilakukan secara lokal (pada panel kendali) maupun dari jarak jauh menggunakan koneksi internet (berbasis IoT).
3. Beroperasinya lampu lalu lintas dapat dibuat otomatis (menggunakan sela waktu tertentu), manual (dimatikan atau menyala kuning), maupun darurat (memberi prioritas pada kendaraan darurat).
4. Terdapat IP camera yang mampu mengirimkan data kepadatan lalu lintas (monitoring) sebagai dasar untuk melakukan pengaturan dari jarak jauh.
5. Tingkat kecerahan lampu lalu lintas akan secara otomatis mengikuti cahaya latar belakang, untuk menghindari silau pada pengemudi di petang dan malam hari.

II. METODE PENELITIAN

Metode penelitian yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Studi Literatur
Pada langkah pertama dilakukan pengumpulan literatur dari buku, *e-book*, jurnal, dan beberapa laporan hasil penelitian. Hasil penelitian terdahulu dikumpulkan untuk dianalisis tentang topik, proses, dan hasilnya agar bisa menentukan arah penelitian ini. Teori-teori pendukung didapatkan dari literatur yang ada untuk menyusun gambaran umum penelitian sehingga menghasilkan sebuah hipotesis.
2. Perumusan Masalah
Pada langkah ini dilakukan perumusan masalah sesuai dengan kondisi, tantangan, kelemahan, dan kekurangan dari kondisi sebelumnya berdasarkan referensi yang telah dikumpulkan. Pada bagian ini juga dilakukan penentuan spesifikasi yang harus dipenuhi oleh purwarupa yang dihasilkan pada tahap pengujian.
3. Perancangan Perangkat Keras

Pada langkah ini dilakukan perancangan untuk purwarupa perangkat keras yang akan dibangun, meliputi rancangan fisik, mekanik, dan elektronik.

4. Perancangan Perangkat Lunak

Pada bagian ini dilakukan perancangan algoritma, struktur data, dan komunikasi data yang akan diterapkan pada mikrokontroler, purwarupa lampu lalu lintas, koneksi *IP camera*, dan koneksi IoT.

5. Pembuatan Perangkat Keras

Pada bagian ini dilakukan pembuatan purwarupa perangkat keras berdasarkan rancangan yang telah dilakukan sebelumnya.

6. Pemrograman Perangkat Lunak

Pada bagian ini dilakukan pemrograman pada mikrokontroler perangkat purwarupa (Arduino Mega 2560 dan NodeMCU ESP-12E).

7. Pengujian Purwarupa

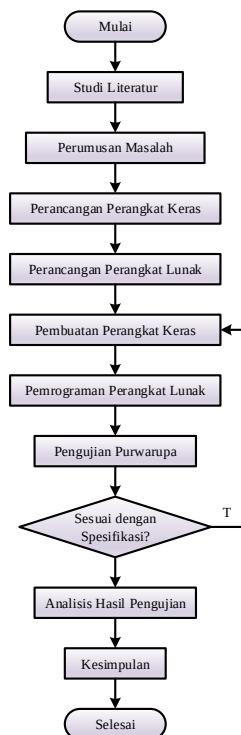
Pada bagian ini dilakukan pengujian pada keseluruhan purwarupa. Dari hasil pengujian yang didapatkan akan ditentukan keberhasilan penelitian sesuai dengan spesifikasi yang ditentukan sebelumnya.

8. Analisis Hasil Pengujian

Pada bagian ini, data yang telah didapatkan dari hasil pengujian dianalisis untuk mendapatkan indikator keberhasilan penelitian yang telah dilakukan.

9. Kesimpulan

Sebagai langkah terakhir, rekomendasi yang didapatkan beserta hasil uji algoritma akan dipakai sebagai dasar pengambilan kesimpulan.



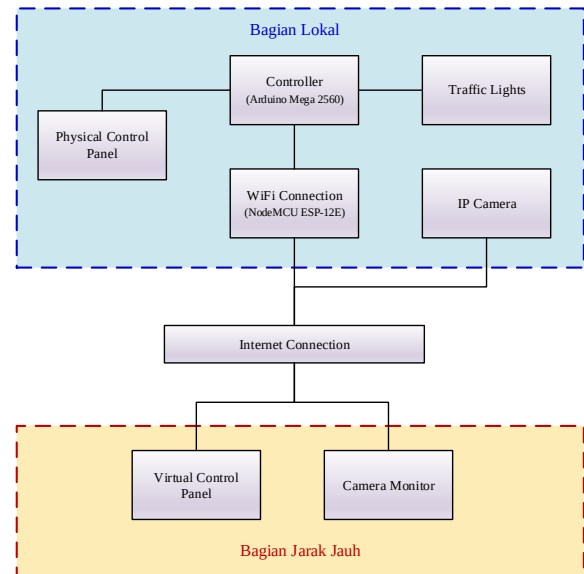
Gambar 1. Metode penelitian.

Berikut ini spesifikasi dari sistem pengaturan lampu lalu lintas yang akan dibangun dalam bentuk purwarupa miniatur pada penelitian kali ini:

1. Perangkat memiliki tiga lampu lalu lintas pada setiap ruas jalan, yaitu untuk belok kiri, lurus, dan belok kanan. Ketiganya bisa beroperasi secara mandiri. Hal ini dimaksudkan agar sistem menjadi fleksibel ketika terdapat perubahan fungsi perempatan dan perubahan jalur jalan secara permanen maupun sementara. Semisal jika terdapat aturan baru “belok kiri jalan terus”, maka tidak perlu untuk memasang ataupun membongkar rambu-rambu tertulis, namun cukup mengatur ulang secara elektronik. Contoh lain adalah jika terdapat larangan baru untuk belok kanan, maka cukup untuk mengatur ulang sistem.
2. Perangkat harus bisa diatur (*setting*) dari jarak dekat (pada panel kendali) dan dari jarak jauh (menggunakan IoT). Pada sistem yang sudah ada, panel kendali tersedia pada setiap perempatan. Namun pada penelitian ini, sistem juga bisa diatur dari jarak jauh, dan kedua cara pengaturan tersebut memiliki prioritas yang sama sesuai dengan hak akses masing-masing operator. Selain untuk fleksibilitas, hal ini dimaksudkan pula untuk keamanan, yaitu dengan menerapkan sistem penguncian elektronik berupa *username* dan *password* pada panel kendali, sehingga hanya operator yang berhak yang bisa melakukan pengaturan.
3. Perangkat mampu melakukan monitoring dari jarak jauh dengan cara mengirimkan video kondisi lalu lintas melalui *IP camera* yang terpasang di perempatan. Operator yang berada pada jarak jauh, atau yang biasanya berada di kantor pusat, dapat melakukan monitoring secara visual dan real-time. Selain itu, *IP camera* yang terpasang akan dapat diputar dari jarak jauh untuk mendapatkan gambar dari keempat sisi ruas jalan.
4. Sekali diatur, sistem harus mampu mengubah lampu lalu lintas secara otomatis sesuai aturan yang ditentukan. Pengaturan juga dapat diterapkan berdasarkan jadwal waktu, sehingga operator hanya perlu melakukan pengaturan sekali untuk banyak jadwal waktu dalam satu hari dan/atau dalam hari tertentu dan/atau setiap hari.
5. Pengaturan yang dapat diberlakukan adalah: *disabled* atau dinonaktifkan (semua lampu padam), normal atau otomatis (menggunakan jeda waktu yang telah diatur sebelumnya), *caution* atau waspada (lampu berkedip kuning), dan manual (dioperasikan secara manual oleh operator). Pengaturan otomatis tersebut dapat diatur menurut penjadwalan, sedangkan pengaturan manual seperti diatur

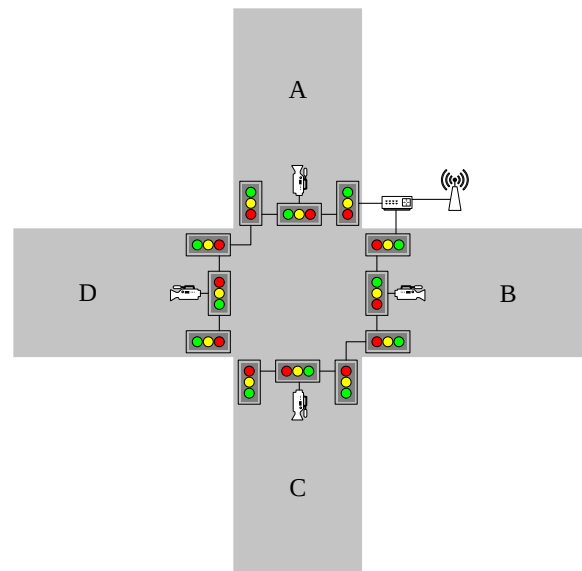
sewaktu-waktu ketika terdapat kondisi darurat.

6. Sistem mampu melakukan *dimming* pada lampu lalu lintas ketika keadaan mulai gelap, untuk mencegah silau pada pengendara. Hal ini akan sangat berguna ketika kondisi mulai gelap, yang memiliki dua keuntungan, yaitu menghindari silau pada pengendara dan menghemat listrik.



Gambar 2. Blok diagram sistem.

Pada Gambar 2 ditunjukkan blok diagram sistem secara keseluruhan. Sedangkan tampak (*layout*) model perempatan dari atas ditunjukkan pada Gambar 3.



Gambar 3. Purwarupa model perempatan dilihat dari atas.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Tahap pengujian pada perangkat purwarupa model perempatan dengan lampu lalu lintas ini dilakukan dalam beberapa urutan, antara lain:

1. Pengujian pemasukan daya dan koneksi antar bagian;
2. Pengujian modus operasional antarmuka dan modus operasional lampu lalu lintas pada perangkat;
3. Pengujian antarmuka pengaturan (*setting*) perangkat menggunakan PCP;
4. Pengujian antarmuka pengaturan (*setting*) perangkat menggunakan VCP; dan

Pada setiap tahap pengujian akan dibuat tabel yang berisi *check list* dari hasil uji yang digunakan pada tahap analisis.

Pengujian pemasukan daya dilakukan pada PCP, baik secara mandiri ataupun dalam kondisi tersambung dengan model perempatan. Sedangkan pengujian koneksi antar bagian dilakukan dalam kondisi semua bagian tersambung, yaitu PCP dan model perempatan.

Pemasukan daya dicoba dengan menggunakan PCP secara mandiri terlebih dahulu, dan dalam kondisi panel depan terbuka, beberapa terminal daya diperiksa menggunakan voltmeter. Hasil pengujian tersebut ditunjukkan pada Tabel 1, Tabel 2, dan Tabel 3.

Tabel 1. Hasil Pengujian Pemasukan Daya pada PCP secara Mandiri

No.	Terminal	Tegangan Seharusnya	Tegangan Terukur	Status
1	Masukan pada catu daya	220 VAC	216 VAC	Dalam batas spesifikasi
2	Keluaran dari catu daya	12 VDC	12,3 VDC	Dalam batas spesifikasi
3	Keluaran <i>regulator</i> 5 volt (7805)	5 VDC	4,9 VDC	Dalam batas spesifikasi
4	Keluaran <i>regulator</i> 3,3 volt (LM1117 3V3) pertama	3,3 VDC	3,3 VDC	Dalam batas spesifikasi
5	Keluaran <i>regulator</i> 3,3 volt (LM1117 3V3) kedua	3,3 VDC	3,2 VDC	Dalam batas spesifikasi
6	Keluaran <i>buck converter</i> 5 volt	5 VDC	5,0 VDC	Dalam batas spesifikasi

Tabel 2. Hasil Pengujian Pemasukan Daya pada PCP setelah Disambungkan dengan Model Perempatan

No.	Terminal	Tegangan Seharusnya	Tegangan Terukur	Status
1	Masukan pada catu daya	220 VAC	218 VAC	Dalam batas spesifikasi
2	Keluaran dari catu daya	12 VDC	12,1 VDC	Dalam batas spesifikasi
3	Keluaran <i>regulator</i> 5 volt (7805)	5 VDC	4,8 VDC	Dalam batas spesifikasi
4	Keluaran <i>regulator</i> 3,3 volt (LM1117 3V3) pertama	3,3 VDC	3,3 VDC	Dalam batas spesifikasi
5	Keluaran <i>regulator</i> 3,3 volt (LM1117 3V3) kedua	3,3 VDC	3,3 VDC	Dalam batas spesifikasi
6	Keluaran <i>buck converter</i> 5 volt	5 VDC	4,8 VDC	Dalam batas spesifikasi

Tabel 3. Hasil Pemeriksaan Visual pada PCP dan Model Perempatan

No.	Bagian	Kondisi	Status
1	Layar peraga LCD	Menyala dan menampilkan keluaran teks	Berhasil
2	Delapan indikator	Menyala sesuai kondisi	Berhasil
3	<i>Buzzer</i>	Berbunyi sesuai kondisi	Berhasil
4	Dua belas lajur lampu lalu lintas	Menyala sesuai kondisi	Berhasil

Dalam purwarupa model lampu lalu lintas ini, perangkat yang dihasilkan (PCP dan model perempatan) bekerja dengan menggunakan beberapa modus operasional. Terdapat dua jenis modus operasional, yaitu modus operasional antarmuka (*interface modes*) dan modus operasional lampu lalu lintas (*traffic light modes*). Meskipun diatur oleh mikrokontroler tunggal, namun perangkat yang telah dibangun mampu bekerja secara simultan menangani sejumlah komponen, yang meliputi masukan dari tombol, masukan dari sensor pencahayaan, masukan dari modul RTC, masukan dari modul GPS, keluaran pada layar peraga LCD, keluaran pada indikator, keluaran pada *buzzer*, serta keluaran pada setiap lajur lampu lalu lintas.

Tabel 4. Hasil Pengujian Modus Operasional Antarmuka (*Interface Modes*) pada PCP

No.	Modus Operasional	Kondisi	Status
1	Booting	Aktif ketika perangkat dinyalakan, bertahan hingga lima detik.	Sesuai dengan spesifikasi
2	Siap (<i>standby</i>)	Aktif secara otomatis setelah perangkat memasuki modus booting. Aktif setelah perangkat keluar dari semua modus lainnya.	Sesuai dengan spesifikasi
3	Pengaturan (<i>setting</i>)	Aktif ketika dipilih dari modus siap dan PIN sesuai.	Sesuai dengan spesifikasi
4	Pengaturan waktu (<i>time adjustment</i>)	Aktif ketika dipilih dari modus siap dan PIN sesuai.	Sesuai dengan spesifikasi
5	Pemilihan modus lampu lalu lintas (<i>traffic light mode selection mode</i>)	Aktif ketika dipilih dari modus siap dan PIN sesuai.	Sesuai dengan spesifikasi
6	Pengoperasian manual (<i>manual operation</i>)	Aktif ketika dipilih dari modus siap dan PIN sesuai.	Sesuai dengan spesifikasi

Tabel 5. Hasil Pengujian Modus Operasional Lampu Lalu Lintas (*Traffic Light Modes*) pada PCP

No.	Modus Operasional	Kondisi	Status
1	Non-aktif (<i>inactive</i>)	Semua lampu lalu lintas padam.	Sesuai dengan spesifikasi
2	Normal	Semua lampu lalu lintas menyala sesuai dengan gilirannya dan pengaturan yang telah dilakukan sebelumnya.	Sesuai dengan spesifikasi
3	Manual	Setiap lampu lalu lintas bisa dioperasikan secara manual dan individual oleh operator.	Sesuai dengan spesifikasi
4	Waspada (<i>caution</i>)	Semua lampu lalu lintas menyala kuning berkedip.	Sesuai dengan spesifikasi

Hasil pengujian modus operasional pada perangkat ini ditunjukkan pada Tabel 4 dan Tabel 5.

Selain menggunakan PCP, perangkat secara keseluruhan bisa dikendalikan menggunakan VCP. Implementasi VCP ini dilakukan menggunakan layanan IoT yang disediakan oleh Blynk.

Tabel 6. Hasil Pengujian Pengoperasian Perangkat Melalui VCP

No.	Butir Pengujian	Kondisi	Status
1	Sistem penguncian PCP oleh VCP	Ketika PCP dalam modus operasional siap, VCP berhasil melakukan permintaan penguncian. Ketika PCP dalam modus operasional selain siap, VCP ditolak untuk melakukan penguncian.	Sesuai dengan spesifikasi
2	Pemilihan modus operasional lampu lalu lintas (non-aktif, normal, dan waspada) oleh VCP	Semua modus operasional lampu lalu lintas yang disediakan berhasil diatur oleh VCP.	Sesuai dengan spesifikasi
3	Melakukan pengaturan oleh VCP	Semua pengaturan bisa diubah menggunakan VCP	Sesuai dengan spesifikasi
4	Melakukan operasi manual terhadap setiap lampu lalu lintas (memasuki modus operasional manual) oleh VCP	Setiap lajur lampu lalu lintas berhasil diatur secara manual oleh VCP. Setelah melakukan operasi manual, perangkat berhasil kembali ke modus operasional lampu lalu lintas yang sebelumnya.	Sesuai dengan spesifikasi

Tabel 6 menunjukkan hasil pengujian perangkat dari jarak jauh menggunakan layanan Blynk.

Tabel 7. Perbandingan Antara Perhitungan Teoritis dan Hasil Eksekusi Pengujian Modus Normal Menggunakan Slot ke-02

Urutan	Perhitungan			Hasil Pengujian			MAPE(Rata rata error)	
	T_{stop}	new(T_{stop})	T_{run}	T_{stop}	new(T_{stop})	T_{run}	new(T_{stop})	T_{run}
0	48	45	17	48	45	16	0	-1
1	44	44	18	44	44	17	0	-1
2	50	46	17	49	45	16	+1	-1
3	75	52	10	74	51	10	-1	0
Jumlah	217	186	62	215	185	59	-1	-3

Tabel 7 menunjukkan hasil pengujian modus normal yang dibandingkan dengan hitungan teoritis. Dengan demikian, pengujian operasi penyalan lampu lalu lintas pada modus Normal ini telah berhasil mencapai spesifikasi yang telah ditentukan dengan selisih presisi proses penghitungan waktu penyalan lampu hijau yang dihasilkan perangkat adalah sebesar $\frac{3}{62} \cdot 100\%$ atau sebesar 4,8%.

Dari semua hasil pengujian yang telah dilakukan sebelumnya, maka dapat dilakukan analisis sebagai berikut:

1. Secara elektronik, perangkat yang dihasilkan, yaitu PCP dan model perempatan, telah berhasil dibangun dan beroperasi sesuai dengan spesifikasi. Semua sistem tegangan yang digunakan berhasil diukur dalam batas

spesifikasi yang telah ditentukan. Semua koneksi antar bagian, terutama koneksi antara PCP dengan model perempatan berhasil dilakukan dan sesuai dengan spesifikasi yang telah ditentukan. Semua komponen pada PCP dan model perempatan telah berhasil dioperasikan.

2. Secara algoritmik, perangkat secara keseluruhan berhasil beroperasi dengan menggunakan semua modus operasional yang telah ditentukan. Dalam hasil pengujian, didapatkan bahwa modus operasional antarmuka (*interface modes*) dan modus operasional lampu lalu lintas (*traffic light modes*) dapat beroperasi secara independen dan bersinergi (tersinkronisasi) dengan selisih presisi perhitungan waktu sebesar 4,8%. Pengoperasian secara otonom juga telah berhasil dilakukan pada modus operasional normal dan sesuai dengan pengaturan yang telah dilakukan sebelumnya.
3. Perangkat secara keseluruhan dapat diatur menurut pengaturan yang ada, yang menjalankan modus operasional lampu lalu lintas normal (*normal mode*) secara otomatis. Semua butir pengaturan telah berhasil diatur satu-persatu dan disimpan pada perangkat yang bahkan dapat dimuat kembali secara otomatis ketika perangkat padam dan dinyalakan kembali.
4. Perangkat berhasil dioperasikan secara jarak jauh menggunakan VCP sesuai dengan spesifikasi yang telah diberikan sebelumnya.

IV. KESIMPULAN

Dari semua proses penelitian yang telah dilakukan dan hasil analisis dari pengujian, maka dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

1. Sebuah perangkat purwarupa miniatur sistem lampu lalu lintas yang mengimplementasikan monitoring dan pengaturan jarak jauh telah berhasil dibangun sesuai dengan spesifikasi yang telah ditentukan. Kendali atas perangkat dapat dilakukan semuanya dari panel fisik (PCP). Sedangkan kendali jarak jauh (oleh VCP) dapat dilakukan semuanya kecuali pada bagian pengaturan.
2. Pengujian terhadap perangkat purwarupa miniatur (PCP, model perempatan, dan VCP) yang telah dikembangkan berhasil dilakukan dan mendapatkan hasil sebagai berikut di **tabel 8**

Urutan	Perhitungan			Hasil Pengujian			MAPE(Rata rata error)	
	T _{stop}	new(T _{stop})	T _{run}	T _{stop}	new(T _{stop})	T _{run}	new(T _{stop})	T _{run}
0	48	45	17	48	45	16	0	-1
1	44	44	18	44	44	17	0	-1
2	50	46	17	49	45	16	+1	-1
3	75	52	10	74	51	10	-1	0
Jumlah	217	186	62	215	185	59	-1	-3

Tabel 8 menunjukkan hasil pengujian modus normal yang dibandingkan dengan hitungan teoritis.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] A. Machdani, B. Husodo dan S. Attamimi, "Sistem Kontrol Lampu Lalu Lintas Untuk Layanan Darurat Berbasis Internet of Things (IoT)," *Jurnal Teknologi Elektro Universitas Mercu Buana*, vol. 10, no. 3, pp. 188-193, 2019.
- [2] Usman, P. Albert, I. V. Sari, I. Idris dan R. Khair, "Rancang Bangun Traffic Light Sistem Tanggap Darurat Berbasis IoT," *JSON: Jurnal Sistem Komputer dan Informatika*, vol. 1, no. 3, pp. 195-199, 2020.
- [3] C. Pandoyo, A. G. Permana dan D. N. Ramadan, "Perancangan Purwarupa Lampu Lalu Lintas Pintar untuk Kendaraan Pemadam Kebakaran Menggunakan Internet of Things," dalam *e-Proceeding of Applied Science*, 2021.
- [4] G. Hozanna, D. Nur dan Kasim, "Sistem Monitoring Dan Controlling Lampu Lalu Lintas Berbasis Wireless Sensor Network Menggunakan Lora," dalam *SNTEI: Prosiding Seminar Nasional Teknik Elektro dan Informatika*, Makassar, 2021.
- [5] P. A. Rosyady, Z. A. I. M. dan M. R. Feter, "Prototype Lampu Lalu Lintas Adaptif Berdasarkan Panjang Antrian Kendaraan Berbasis Arduino Uno," *CIRCUIT: Jurnal Ilmiah Pendidikan Teknik Elektro*, vol. 6, no. 2, pp. 173-186, 2022.
- [6] Arduino AG, "Arduino - Introduction," 15 7 2018. [Online]. Available: <https://www.arduino.cc/en/guide/introduction>.
- [7] SparkFun Electronics, "ESP-01 module, manufactured by Ai-Thinker," 15 11 2018. [Online]. Available: https://c1.staticflickr.com/1/494/19681470919_9a9bcd5692_z.jpg.
- [8] Atmel Corporation, "ATmega328P 8-bit AVR Microcontroller with 32K Bytes In-System Programmable Flash Datasheet," Atmel Corporation, San Jose, 2015.
- [9] F.-G. Bănică, *Chemical Sensors and Biosensors: Fundamentals and Applications*, Chichester: Jon Wiley & Sons, 2012.
- [10] M. Banzi, *Getting Started with Arduino*, Sebastopol: O'Reilly Media, 2011.