

Prototipe Lampu Lalu Lintas Adaptif Berdasarkan Panjang Antrian Kendaraan Berbasis Arduino Uno

Phisca Aditya Rosyady¹, Zakky Ahmad Ikhsan M², Muslih Rayullan Feter³

^{1,2,3} Universitas Ahmad Dahlan

e-mail: phisca.aditya@te.uad.ac.id¹, zakkyahmad180@gmail.com²,
muslih1800022091@webmail.uad.ac.id³

Diterima: 24-06-2022

Disetujui: 24-07-2022

Diterbitkan: 10-08-2022

Abstract

Jamming has become a major problem in the big cities in Indonesia. One of the vulnerable points that cause congestion/jam is at the crossroads. Traffic lights should be a very important component in the traffic control system, especially at crossroads. Had a significant change in the number of vehicles and there is no data update, it will cause a longer waiting time. The purpose of this research to design an adaptive traffic light system based on the queue length of vehicles on each road section and testing the traffic light control simulation design. This research used Arduino Uno as a microcontroller and infrared detection sensor. Sensor readings will detect the condition of each road which will be sent to the microcontroller and processed in determining the duration of each traffic light. The results of this study indicates a traffic light system designed to control traffic lights based on the queue length of vehicles on each road segment. Meanwhile, in testing the system, the error value is 0.00404% for the duration of the green light. 0.00917% for the duration of the yellow light, and 0.0217% for the duration of the red light. Based on the results, it is expected that there should be development using a microcontroller that put more input and output pins so that it can detect density on roads more accurately.

Keywords: Traffic, Infrared, Arduino Uno, Congestion

Abstrak

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. Jika terdapat perubahan signifikan pada jumlah kendaraan dan tidak ada pembaharuan data maka akan menimbulkan waktu tunggu yang semakin lama. Adapun tujuan penelitian adalah untuk membuat rancangan sistem lampu lalu lintas adaptif berdasarkan panjang antrian kendaraan pada setiap ruas jalan dan melakukan pengujian rancangan simulasi kontroling 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 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, diharapkan adanya pengembangan dengan menggunakan mikrokontroler yang memiliki pin input dan output lebih banyak sehingga dapat mendeteksi kepadatan pada ruas jalan dengan lebih akurat.

Kata kunci: Lalu Lintas, Inframerah, Arduino Uno, Kemacetan

Pendahuluan

Indonesia merupakan salah satu negara berkembang yang memiliki jumlah penduduknya banyak. Hal tersebut menjadikan Indonesia sebagai sasaran utama produsen otomotif sebagai pasar mereka. Dengan bertambah pesatnya jumlah kendaraan dan tidak bertambahnya ruas jalan, tentu saja cepat atau lambat akan terjadinya kemacetan khususnya pada kota-kota besar (Prasetya Utama et al., n.d.). Permasalahan transportasi di Indonesia merupakan fenomena yang terlihat sehari-hari dalam kehidupan manusia. Dewasa ini perkembangan teknologi khususnya dalam dunia otomotif mendorong jumlah kendaraan yang semakin meningkat. Jika peningkatan jumlah kendaraan ini tidak diikuti dengan peningkatan prasarana transportasi yang memadai, maka akan terjadi suatu ketidakseimbangan antara permintaan (*demand*) dan penyediaan (*supply*). Pada akhirnya akan menimbulkan suatu ketidaklancaran dalam mobilitas transportasi berupa kemacetan (Rondonuwu & Pangemanan, 2019).

Salah satu titik yang rawan terjadi kemacetan ialah persimpangan jalan. Lampu lalu lintas menjadi komponen yang sangat penting dalam sistem pengaturan lalu lintas terutama pada persimpangan jalan. Di Indonesia pengaturan lampu lalu lintas menerapkan metode Manual Kapasitas Jalan Indonesia (MKJI), dalam metode tersebut pengaturan lampu lalu lintas ditentukan secara waktu tetap (*Fixed Time*) (Harits Ibrahim et al., 2020). Kekurangan dari pada metode ini ialah 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 (Wibawa & Putri, 2016).

Penelitian ini memiliki tujuan, membuat rancangan sistem lampu lalu lintas adaptif berdasarkan panjang antrian kendaraan pada setiap ruas jalan, serta melakukan pengujian rancangan simulasi *controlling* lampu lalu lintas berdasarkan panjang antrian kendaraan pada setiap ruas jalan. Pembaharuan dari peneliti yang telah dilakukan adalah durasi lampu yang dapat berubah sesuai dengan kondisi masing-masing jalan (Hartanti et al., 2018).

Studi Pustaka

a. Lalu lintas

Lalu lintas dapat didefinisikan sebagai gerak kendaraan dan manusia di ruang lalu lintas jalan. Ruang lalu lintas jalan adalah prasarana yang diperuntukan bagi gerak pindah kendaraan, manusia, dan atau barang yang berupa jalan dan fasilitas penumpang (Hidayati et al., 2017). Persimpangan jalan adalah daerah atau tempat dimana dua atau lebih jalan yang berpecah, bergabung, bersilangan dan berpotongan, termasuk fasilitas jalan dan sisi jalan untuk pergerakan lalu lintas pada daerah itu. Fungsi operasional utama dari persimpangan adalah untuk menyediakan perpindahan atau perubahan arah perjalanan (Djavendra et al., 2018).

Pengaturan persimpangan dilihat dari segi pandang untuk kontrol kendaraan dapat dibedakan menjadi dua (Morlok, 1991) yaitu:

1. Persimpangan tanpa sinyal, dimana pengemudi kendaraan sendiri yang harus memutuskan apakah aman untuk memasuki persimpangan itu.
2. Persimpangan dengan sinyal, dimana persimpangan itu diatur sesuai sistem dengan tiga aspek lampu yaitu merah, kuning, dan hijau (lampu lalu lintas) (Jalan et al., 2017). Lampu lalu lintas adalah lampu yang mengendalikan arus lalu lintas yang terpasang di persimpangan

jalan, tempat peyembrangan pejalan kaki (zebra cross), dan tempat arus lalu lintas lainnya (Rachmatullah et al., 2020).

b. Arduino Uno

Gambar 1 menunjukkan mikrokontroler Arduino Uno. Arduino adalah pengendali mikro *single-board* yang bersifat *open-source*, diturunkan dari *Wiring platform*, dirancang untuk memudahkan penggunaan elektronik dalam berbagai bidang. *Hardware* nya memiliki prosesor Atmel AVR dan *software* nya memiliki bahasa pemrograman sendiri (Arief Sutisna, 2021). Arduino merupakan perangkat keras sekaligus perangkat lunak yang memungkinkan siapa saja melakukan pembuatan prototipe suatu rangkaian elektronika yang berbasis mikrokontroler dengan mudah dan cepat (Leksono et al., 2019) .



Gambar 1. Arduino Uno



Gambar 2. Sensor Infra Red

c. Sensor Infra Red

Infra Red (IR) detektor atau sensor infra merah adalah komponen elektronika yang dapat mengidentifikasi panjang gelombang cahaya infra merah (Infra Red, IR) ditunjukkan Gambar 2. Sensor infra merah atau detektor infra merah saat ini ada yang dibuat khusus dalam satu modul dan dinamakan sebagai *IR Detector Photomodules*. *IR Detector Photomodules* merupakan sebuah chip detektor inframerah digital yang di dalamnya terdapat fotodiode dan penguat (Dewantoro et al., n.d.).

d. Perhitungan Durasi Lampu Lalu Lintas

Durasi lampu hijau diperoleh dari data serial monitor yang ditunjukkan pada Gambar 3, Gambar 4, Gambar 5, dan Gambar 6. Perhitungan yang digunakan untuk menentukan durasi pada masing-masing jalur sebagai berikut:

- Durasi Jalur 1= waktu mulai kuning jalur 1 – waktu mulai hijau jalur 1
- Durasi Jalur 2= waktu mulai kuning jalur 2 – waktu mulai hijau jalur 2
- Durasi Jalur 3= waktu mulai kuning jalur 3 – waktu mulai hijau jalur 3

```
13:58:44.148 -> NORMAL_1_Jalur 1 = HIJAU
13:59:01.179 -> NORMAL_1_Jalur 1 = KUNING
13:59:03.210 -> NORMAL_1_Jalur 1 = REDALL
13:59:04.192 -> NORMAL_1_Jalur 2 = HIJAU
13:59:21.255 -> NORMAL_1_Jalur 2 = KUNING
13:59:23.224 -> NORMAL_1_Jalur 2 = REDALL
13:59:24.256 -> NORMAL_1_Jalur 3 = HIJAU
13:59:41.261 -> NORMAL_1_Jalur 3 = KUNING
13:59:43.277 -> NORMAL_1_Jalur 3 = REDALL
13:59:44.262 -> NORMAL_1_Jalur 1 = HIJAU
14:00:01.299 -> NORMAL_1_Jalur 1 = KUNING
14:00:03.316 -> NORMAL_1_Jalur 1 = REDALL
```

Gambar 3 a. Durasi Lampu Lalu Lintas pada Sistem dengan Kondisi Semua Jalan Normal

```
14:11:32.672 -> KONDISI_2_Jalur 1 = HIJAU
14:11:46.691 -> KONDISI_2_Jalur 1 = KUNING
14:11:48.707 -> KONDISI_2_Jalur 1 = REDALL
14:11:49.692 -> KONDISI_2_Jalur 2 = HIJAU
14:12:03.716 -> KONDISI_2_Jalur 2 = KUNING
14:12:05.733 -> KONDISI_2_Jalur 2 = REDALL
14:12:06.755 -> KONDISI_2_Jalur 3 = HIJAU
14:12:29.786 -> KONDISI_2_Jalur 3 = KUNING
14:12:31.803 -> KONDISI_2_Jalur 3 = REDALL
14:12:32.792 -> KONDISI_2_Jalur 1 = HIJAU
14:12:46.817 -> KONDISI_2_Jalur 1 = KUNING
14:12:48.834 -> KONDISI_2_Jalur 1 = REDALL
```

Gambar 4. Durasi Lampu Lalu Lintas pada Sistem dengan Kondisi 2 Jalan Normal dan 1 Jalan Macet

```
14:23:19.002 -> KONDISI_5_Jalur 1 = HIJAU
14:23:30.060 -> KONDISI_5_Jalur 1 = KUNING
14:23:32.052 -> KONDISI_5_Jalur 1 = REDALL
14:23:33.036 -> KONDISI_5_Jalur 2 = HIJAU
14:23:53.005 -> KONDISI_5_Jalur 2 = KUNING
14:23:55.074 -> KONDISI_5_Jalur 2 = REDALL
14:23:56.106 -> KONDISI_5_Jalur 3 = HIJAU
14:24:16.122 -> KONDISI_5_Jalur 3 = KUNING
14:24:18.138 -> KONDISI_5_Jalur 3 = REDALL
14:24:19.123 -> KONDISI_5_Jalur 1 = HIJAU
14:24:30.141 -> KONDISI_5_Jalur 1 = KUNING
14:24:32.170 -> KONDISI_5_Jalur 1 = REDALL
```

Gambar 5. Durasi Lampu Lalu Lintas pada Sistem dengan Kondisi 2 Jalan Macet dan 1 Jalan Normal

```
14:30:19.813 -> MACET_8_Jalur 1 = HIJAU
14:30:31.847 -> MACET_8_Jalur 1 = KUNING
14:30:33.864 -> MACET_8_Jalur 1 = REDALL
14:30:34.878 -> MACET_8_Jalur 2 = HIJAU
14:30:46.871 -> MACET_8_Jalur 2 = KUNING
14:30:48.888 -> MACET_8_Jalur 2 = REDALL
14:30:49.872 -> MACET_8_Jalur 3 = HIJAU
14:31:01.904 -> MACET_8_Jalur 3 = KUNING
14:31:03.919 -> MACET_8_Jalur 3 = REDALL
14:31:04.931 -> MACET_8_Jalur 1 = HIJAU
14:31:16.941 -> MACET_8_Jalur 1 = KUNING
14:31:18.957 -> MACET_8_Jalur 1 = REDALL
```

Gambar 6. Durasi Lampu Lalu Lintas pada Sistem dengan Kondisi Semua Jalan Macet

Durasi lampu hijau diperoleh dari data serial monitor yang ditunjukkan pada Gambar 3, Gambar 4, Gambar 5, dan Gambar 6. Perhitungan yang digunakan pada masing-masing ruas jalan sebagai berikut:

- Durasi Jalur 1 = waktu mulai lampu merah menyala bersama (*red all*) jalur 1 – waktu mulai kuning jalur 1
- Durasi Jalur 2 = waktu mulai lampu merah menyala bersama (*red all*) jalur 2 – waktu mulai kuning jalur 2
- Durasi Jalur 3 = waktu mulai lampu merah menyala bersama (*red all*) jalur 3 – waktu mulai kuning jalur 3

Durasi lampu hijau diperoleh dari data serial monitor yang ditunjukkan pada Gambar 3, Gambar 4, Gambar 5, dan Gambar 6. Perhitungan yang digunakan pada masing-masing ruas jalan sebagai berikut:

- Durasi Jalur 1 dan 2 = waktu mulai hijau jalur 2 – waktu mulai lampu merah menyala bersama (*red all*) jalur 1
- Durasi Jalur 2 dan 3 = waktu mulai hijau jalur 3 – waktu mulai lampu merah menyala bersama (*red all*) jalur 2
- Durasi Jalur 3 dan 1 = waktu mulai hijau jalur 1 – waktu mulai lampu merah menyala bersama (*red all*) jalur 3

Durasi lampu merah diperoleh dari data durasi lampu hijau, lampu kuning, dan lampu merah menyala bersama (*red all*). Perhitungan yang digunakan pada masing-masing ruas jalan sebagai berikut:

- Durasi Jalur 1 = durasi hijau jalur 2 + durasi kuning jalur 2 + durasi lampu merah menyala bersama (*red all*) 2 + durasi hijau jalur 3 + durasi kuning jalur 3 + durasi lampu merah menyala bersama (*red all*) 3
- Durasi Jalur 2 = durasi hijau jalur 3 + durasi kuning jalur 3 + durasi lampu merah menyala bersama (*red all*) 3 + durasi hijau jalur 1 + durasi kuning jalur 1 + durasi lampu merah menyala bersama (*red all*) 1
- Durasi Jalur 3 = durasi hijau jalur 1 + durasi kuning jalur 1 + durasi lampu merah menyala bersama (*red all*) 1 + durasi hijau jalur 2 + durasi kuning jalur 2 + durasi lampu merah menyala bersama (*red all*) 2

Perhitungan data *error* pada masing-masing durasi lampu lalu lintas ditunjukkan persamaan berikut:

$$\text{persen error} = \left| \frac{(\text{durasi waktu lampu sistem} - \text{durasi waktu lampu skenario})}{\text{durasi waktu lampu skenario}} \right| \times 100\%$$

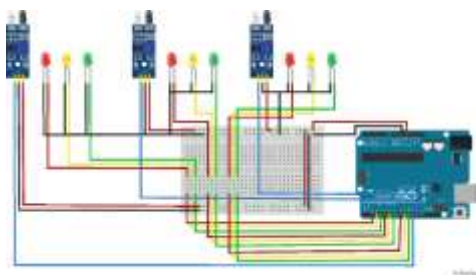
Setelah dilakukan perhitungan diperoleh persen data *error* dari lampu lalu lintas warna hijau, warna kuning, dan warna merah.

Metodologi

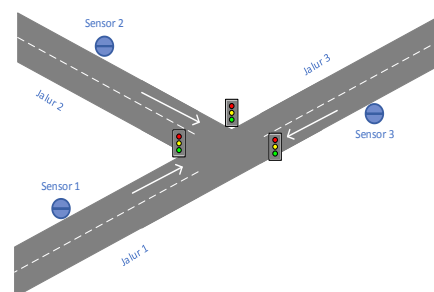
Penelitian mengenai rancangan sistem lampu lalu lintas adaptif berdasarkan panjang antrian kendaraan, secara umum terdiri dari dua metode yang digunakan, yaitu perancangan perangkat keras dan perancangan perangkat lunak.

a. Perancangan Perangkat Keras (*hardware*)

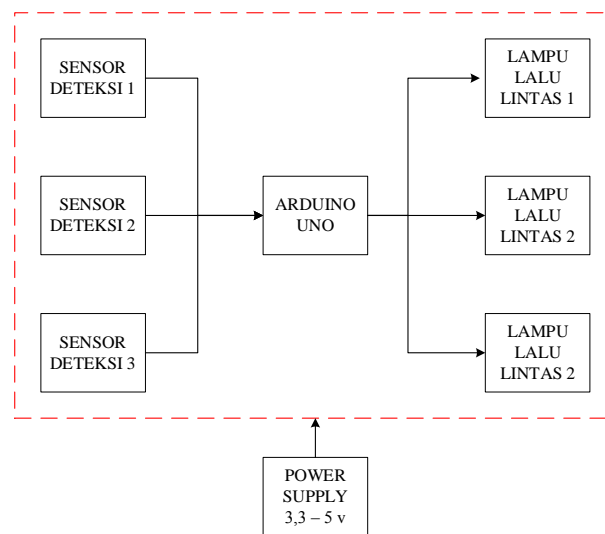
Di dalam perancangan perangkat keras, terdapat dua pengujian yaitu fungsi dari sensor *infra red* dan led lampu lalu lintas (Haekal & Windarto, 2012). Pada perancangan sensor *infra red* membahas fungsi dari sensor *infra red* dalam penelitian ini sebagai pendeteksi kendaraan pada masing-masing ruas jalan. Pengujian led lampu lalu lintas membahas fungsi dari led lampu lalu lintas sebagai indikator pengaturan lalu lintas di persimpangan jalan. *Wiring* dari rancangan ditunjukkan pada gambar 7. Arduino sebagai mikrokontroler yang menerima input dari sensor *infra red* yang selanjutnya diproses untuk menentukan durasi dari lampu lalu lintas pada masing-masing ruas jalan. Perancangan *hardware* menggunakan karton tebal sebagaimana ditunjukkan gambar 8 (Cinthia Wikessa et al., 2017).



Gambar 7. *Wiring* Sistem



Gambar 8. Rancangan Sistem



Gambar 9 Diagram Blok Penelitian

Pada Gambar 9 menunjukkan sistem secara keseluruhan. Terdapat 3 (tiga) buah sensor *infra red* sebagai input, arduino uno sebagai pemroses utama, dan lampu lalu lintas sebagai output (Zulfikar & Tarmizi, 2015). Fungsi dari sensor *infra red* sebagai pendeteksi halangan di masing-masing ruas jalan dengan memanfaatkan prinsip pemantulan sinar infra merah. Di mana *transmitter* akan memancarkan sinar infra merah dan kemudian diterima oleh *receiver* untuk menentukan halangan yang berada di depan sensor (Deltania et al., 2021). Data dari pembacaan sensor akan dikirimkan ke mikrokontroler arduino uno untuk diproses menentukan kondisi jalan. Selanjutnya proses berlanjut pada kontroling lampu lalu lintas sesuai dengan kondisi jalan (Musti & Munadi, 2020).

b. Perancangan Perangkat Lunak (*software*)

Pengujian perangkat lunak dilakukan dengan tiga tahapan, pertama pengujian program sensor ditunjukkan pada Gambar 10. Kedua pengujian durasi lampu ditunjukkan pada Gambar 11, dan ketiga pengujian program keseluruhan ditunjukkan pada Gambar 12. Perancangan perangkat lunak (*software*) menggunakan *software* Arduino IDE (Attamini et al., 2019). *Software* Arduino IDE sebagai aplikasi untuk membuat program berbahasa C, dari program inilah nantinya dimuat ke arduino sehingga arduino dapat mengolah sensor-sensor dan mengendalikan output durasi lampu lalu lintas (Simanungkalit & Yasri, 2017).

Ketika sensor mendeteksi adanya kendaraan atau pada saat kondisi sensor LOW maka informasi yang diperoleh adalah kondisi jalan macet. Ketika sensor tidak mendeteksi kendaraan atau pada saat kondisi HIGH maka informasi yang diperoleh adalah kondisi jalan normal. Program dibuat dengan memberikan logika HIGH untuk menyalakan dan logika LOW untuk mematikan kembali (Priutomo et al., 2016). Program *delay* digunakan untuk menentukan durasi nyala dari masing-masing lampu. Tahap selanjutnya menggabungkan program sensor dengan program durasi lampu, kemudian meng-*compile* jika tidak muncul *error* atau *warning* selanjutnya program dimuat ke dalam mikrokontroler (Nurhidayat et al., 2018).



Gambar 10. Program Sensor



Gambar 11. Program Durasi Lampu



Gambar 12. Hasil Upload Program Ke Dalam Mikrokontroler

Hasil dan Pembahasan

Hasil yang dibahas pada penelitian ini yaitu pengujian sistem lampu lalu lintas adaptif berdasarkan panjang antrian kendaraan pada masing-masing ruas jalan sebagaimana yang telah dirancangan pada tabel 1. Pada penelitian ini yang digunakan adalah kendaraan roda empat.

Tabel 1. Rancangan Kondisi Masing-Masing Ruas Jalan

NO	Keterangan	KONDISI JALAN		
		Jalan 1	Jalan 2	Jalan 3
1	Normal	Normal	Normal	Normal
2	Kondisi 2	Normal	Normal	Macet
3	Kondisi 3	Normal	Macet	Normal
4	Kondisi 4	Macet	Normal	Normal
5	Kondisi 5	Normal	Macet	Macet
6	Kondisi 6	Macet	Normal	Macet
7	Kondisi 7	Macet	Macet	Normal
8	Macet	Macet	Macet	Macet

Sensor IR yang dipasang pada masing-masing ruas jalan digunakan untuk mendeteksi kondisi masing-masing ruas jalan. Hasil dari pembacaan sensor pada masing-masing ruas jalan ditunjukkan pada tabel 1. Dalam perancangan sistem dibuat dengan delapan kondisi jalan yang

berbeda untuk menguji keberhasilan perubahan durasi nyala setiap lampu pada masing-masing ruas jalan. Durasi setiap lampu akan berubah mengikuti kondisi dari masing-masing ruas jalan.

a. Pengujian Sistem dengan Semua Kondisi Jalan Normal

Pengujian dilakukan dengan kondisi masing-masing jalan normal. Skenario rencana durasi lampu yang telah dibuat sebagai acuan dalam melakukan pengujian sebagaimana ditunjukkan pada tabel 2. Data yang diperoleh dari pada sistem yaitu durasi lampu hijau, durasi lampu kuning, durasi lampu merah menyala bersama, dan durasi lampu merah. Tabel 2 menunjukkan hasil dari perhitungan durasi lampu hijau pada masing-masing ruas jalan. Jalur 1 (satu) diperoleh durasi waktu 17,031 detik, jalur 2 (dua) diperoleh durasi waktu 17,063 detik, dan jalur 3 (tiga) diperoleh durasi waktu 17,005 detik dengan rata-rata error 0,0019 %

Tabel 2. Durasi Lampu Kondisi Normal

Jalur	Kondisi	Durasi Lampu (detik)						
1	Normal	17	2	1	39			1
2	Normal	19		1	17	2	1	20
3	Normal	39			1	17	2	1

Tabel 3. Hasil Durasi Lampu Lalu Lintas Warna Hijau

No	Jalur	Pembacaan Sistem		Durasi Sistem (detik)	Rencana Durasi (detik)	Error (detik)	Error %
1	Jalur 1	61,179	44,148	17,031	17	0,031	0,0018
2	Jalur 2	21,255	4,192	17,063	17	0,063	0,0037
3	Jalur 3	41,261	24,256	17,005	17	0,005	0,0003
Rata-rata error						0,099	0,0019

Tabel 4. Hasil Durasi Lampu Lalu Lintas Warna Kuning

No	Jalur	Pembacaan Sistem		Durasi Sistem (detik)	Rencana Durasi (detik)	Error (detik)	Error %
1	Jalur 1	3,21	1,179	2,031	2	0,031	0,0155
2	Jalur 2	23,224	21,255	1,969	2	0,031	0,0155
3	Jalur 3	43,277	41,261	2,016	2	0,016	0,0080
Rata-rata error						0,078	0,0130

Tabel 5. Hasil Durasi Lampu Lalu Lintas Warna Merah Menyala Bersama

No	Jalur	Pembacaan Sistem		Durasi Sistem (detik)	Rencana Durasi (detik)	Error (detik)	Error %
1	Jalur 1 dan jalur 2	4,192	3,21	0,982	1	0,018	0,0180
2	Jalur 2 dan jalur 3	24,256	23,224	1,032	1	0,032	0,0320
3	Jalur 3 dan jalur 1	44,262	43,277	0,985	1	0,015	0,0150

Tabel 6. Hasil Durasi Lampu Lalu Lintas Warna Merah

No	Jalur	Pembacaan Sistem (detik)						Durasi Sistem (detik)	Rencana Durasi (detik)	Error (detik)	Error %
1	Jalur 1	17,063	1,97	1,032	17,005	2,016	0,985	40,07	41	0,93	0,0227
2	Jalur 2	17,005	2,016	0,985	17,031	2,031	0,982	40,05	41	0,95	0,0232
3	Jalur 3	17,031	2,031	0,982	17,063	1,969	1,032	40,108	41	0,89	0,0218
Rata-rata error										2,772	0,225

Tabel 4 menunjukkan hasil dari perhitungan durasi lampu kuning pada masing-masing ruas jalan. Jalur 1 (satu) diperoleh durasi waktu 2,031 detik, jalur 2 (dua) diperoleh durasi waktu 1,969 detik, dan jalur 3 (tiga) diperoleh durasi waktu 2,016 detik dengan rata-rata error 0,013 %. Tabel 5 menunjukkan hasil dari perhitungan durasi lampu merah menyala bersama (red all) pada masing-masing ruas jalan. Jalur 1 (satu) diperoleh durasi waktu 0,982 detik, jalur 2 (dua) diperoleh durasi waktu 1,032 detik, dan jalur 3 (tiga) diperoleh durasi waktu 0,985 detik. Tabel 6 menunjukkan hasil dari perhitungan durasi lampu merah pada masing-masing ruas jalan. Jalur 1 (satu) diperoleh durasi waktu 40,07 detik, jalur 2 (dua) diperoleh durasi waktu 40,05 detik, dan jalur 3 (tiga) diperoleh durasi waktu 40,108 detik dengan rata-rata error 0,225%.

b. Pengujian Sistem dengan 2 (dua) Jalur Normal dan 1 (satu) Jalur Macet

Pengujian sistem yang kedua, dilakukan dengan kondisi dua jalur normal dan satu jalur macet. Skenario rencana durasi lampu yang telah dibuat sebagai acuan dalam melakukan pengujian sebagaimana ditunjukkan pada Tabel 7. Data yang diperoleh dari pada sistem yaitu durasi lampu hijau, durasi lampu kuning, durasi lampu merah menyala bersama, dan durasi lampu merah. Tabel 8 menunjukkan Hasil dari perhitungan durasi lampu hijau pada masing-masing ruas jalan. Jalur 1 (satu) diperoleh durasi waktu 14,019 detik, jalur 2 (dua) diperoleh durasi waktu 14,024 detik, dan jalur 3 (tiga) diperoleh durasi waktu 23,031 detik dengan rata-rata error 0,0015 %.

Tabel 7. Durasi Lampu Kondisi dengan 2 Jalur Normal dan 1 Jalur Macet

Jalur	Kondisi	Durasi Lampu (detik)								
Jalur 1	Normal	14	2	1				42	1	
Jalur 2	Normal	16		1	14	2	1	25	1	
Jalur 3	Macet	33					1	23	2	1

Tabel 8. Hasil Durasi Lampu Lalu Lintas Warna Hijau

No	Jalur	Pembacaan Sistem		Durasi Sistem (detik)	Rencana Durasi (detik)	Error (detik)	Error %
1	Jalur 1	46,691	32,672	14,019	14	0,019	0,0014
2	Jalur 2	63,716	49,692	14,024	14	0,024	0,0017
3	Jalur 3	29,786	6,755	23,031	23	0,031	0,0013
Rata-rata error						0,074	0,0015

Tabel 9. Hasil Durasi Lampu Lalu Lintas Warna Kuning

No	Jalur	Pembacaan Sistem		Durasi Sistem (detik)	Rencana Durasi (detik)	Error (detik)	Error %
1	Jalur 1	48.707	46,691	2,016	2	0,016	0,0080
2	Jalur 2	5,733	3,716	2,017	2	0,017	0,0085
3	Jalur 3	31,803	29,786	2,017	2	0,017	0,0085
Rata-rata error						0,05	0,0083

Tabel 10. Hasil Durasi Lampu Lalu Lintas Warna Merah Menyala Bersama

No	Jalur	Pembacaan Sistem		Durasi Sistem (detik)	Rencana Durasi (detik)	Error (detik)	Error %
1	Jalur 1 dan jalur 2	49,692	48,707	0,985	1	0,015	0,0150
2	Jalur 2 dan jalur 3	6,755	5,733	1,022	1	0,022	0,0220
3	Jalur 3 dan jalur 1	32,792	31,803	0,989	1	0,011	0,0110

Tabel 11. Hasil Durasi Lampu Lalu Lintas Warna Merah

No	Jalur	Pembacaan Sistem (detik)						Durasi Sistem (detik)	Rencana Durasi (detik)	Error (detik)	Error %
1	Jalur 1	14,024	2,017	1,022	23,031	2,017	0,989	43,1	44	0,9	0,0205
2	Jalur 2	23,031	2,017	0,989	14,019	2,016	0,985	43,057	44	0,943	0,0214
3	Jalur 3	14,019	2,016	0,985	14,024	2,017	1,022	34,083	35	0,917	0,0262
Rata-rata error										2,76	0,0227

Tabel 9 menunjukkan hasil dari perhitungan durasi lampu kuning pada masing-masing ruas jalan. Jalur 1 (satu) diperoleh durasi waktu 2,016 detik, jalur 2 (dua) diperoleh durasi waktu 2,017 detik, dan jalur 3 (tiga) diperoleh durasi waktu 2,017 detik. Tabel 10 menunjukkan hasil dari perhitungan durasi lampu merah menyala bersama (*red all*) pada masing-masing ruas jalan. Jalur 1 (satu) diperoleh durasi waktu 0,985 detik, jalur 2 (dua) diperoleh durasi waktu 1,022 detik, dan jalur 3 (tiga) diperoleh durasi waktu 0,989 detik. Tabel 11 menunjukkan hasil dari perhitungan durasi lampu merah pada masing-masing ruas jalan. Jalur 1 (satu) diperoleh durasi waktu 43,1 detik, jalur 2 (dua) diperoleh durasi waktu 43,057 detik, dan jalur 3 (tiga) diperoleh durasi waktu 35,083 detik.

c. Pengujian Sistem dengan 2 (dua) Jalur Macet dan 1 (satu) Jalur Normal

Pengujian sistem yang kedua, dilakukan dengan kondisi dua jalur macet dan satu jalur normal. Skenario rencana durasi lampu yang telah dibuat sebagai acuan dalam melakukan pengujian sebagaimana ditunjukkan pada tabel 12. Data yang diperoleh dari pada sistem yaitu durasi lampu hijau, durasi lampu kuning, durasi lampu merah menyala bersama, dan durasi lampu merah. Tabel 13 menunjukkan hasil dari perhitungan durasi lampu hijau pada masing-masing ruas jalan. Jalur 1 (satu) diperoleh durasi waktu 11,058 detik, jalur 2 (dua) diperoleh durasi waktu 20,053 detik, dan jalur 3 (tiga) diperoleh durasi waktu 21,048 detik

Tabel 14 menunjukkan hasil dari perhitungan durasi lampu kuning pada masing-masing ruas jalan. Jalur 1 (satu) diperoleh durasi waktu 1,992 detik, jalur 2 (dua) diperoleh durasi waktu 1,985 detik, dan jalur 3 (tiga) diperoleh durasi waktu 2,016 detik. Tabel 15 menunjukkan hasil dari perhitungan durasi lampu merah menyala bersama (red all) pada masing-masing ruas jalan. Jalur 1 (satu) diperoleh durasi waktu 0,984 detik, jalur 2 (dua) diperoleh durasi waktu 1,032 detik, dan jalur 3 (tiga) diperoleh durasi waktu 0,985 detik. Tabel 16 menunjukkan hasil dari perhitungan durasi lampu merah pada masing-masing ruas jalan. Jalur 1 (satu) diperoleh durasi waktu 47,119 detik, jalur 2 (dua) diperoleh durasi waktu 38,083 detik, dan jalur 3 (tiga) diperoleh durasi waktu 37,104 detik.

Tabel 12. Durasi Lampu Kondisi dengan 2 Jalur Macet dan 1 Jalur Normal

Jalur	Kondisi	Durasi Lampu (detik)						
Jalur 1	Normal	11	2	1	45			1
Jalur 2	Macet	13	1	20	2	1	23	
Jalur 3	Macet	36			1	20	2	1

Tabel 13. Hasil Durasi Lampu Lalu Lintas Warna Hijau

No	Jalur	Pembacaan Sistem		Durasi Sistem (detik)	Rencana Durasi (detik)	Error (detik)	Error %
1	Jalur 1	30,06	19,002	11,058	11	0,058	0,0053
2	Jalur 2	53,089	33,036	20,053	20	0,053	0,0026
3	Jalur 3	76,122	55,074	21,048	20	1,048	0,0524
Rata-rata error						1,159	0,0201

Tabel 14. Hasil Durasi Lampu Lalu Lintas Warna Kuning

No	Jalur	Pembacaan Sistem		Durasi Sistem (detik)	Rencana Durasi (detik)	Error (detik)	Error %
1	Jalur 1	32,052	30,06	1,992	2	0,008	0,0040
2	Jalur 2	55,074	53,089	1,985	2	0,015	0,0075
3	Jalur 3	18,138	16,122	2,016	2	0,016	0,0080
Rata-rata error						0,039	0,0060

Tabel 15. Hasil Durasi Lampu Lalu Lintas Warna Merah Menyala Bersama

No	Jalur	Pembacaan Sistem		Durasi Sistem (detik)	Rencana Durasi (detik)	Error (detik)	Error %
1	Jalur 1 dan jalur 2	33,036	32,052	0,984	1	0,016	0,0160
2	Jalur 2 dan jalur 3	56,106	55,074	1,032	1	0,032	0,0320
3	Jalur 3 dan jalur 1	19,123	18,138	0,985	1	0,015	0,0150

Tabel 16. Hasil Durasi Lampu Lalu Lintas Warna Merah

No	Jalur	Pembacaan Sistem (detik)						Durasi Sistem (detik)	Rencana Durasi (detik)	Error (detik)	Error %
1	Jalur 1	20,053	1,985	1,032	21,048	2,016	0,985	47,119	47	0,119	0,0025
2	Jalur 2	21,048	2,016	0,985	11,058	1,992	0,984	38,083	38	0,083	0,0022
3	Jalur 3	11,058	1,992	0,984	20,053	1,985	1,032	37,104	38	0,896	0,0236
Rata-rata error										1.098	0,0094

d. Pengujian Sistem dengan Semua Kondisi Jalan Macet

Pengujian dilakukan dengan kondisi masing-masing jalan macet. Skenario rencana durasi lampu yang telah dibuat sebagai acuan dalam melakukan pengujian sebagaimana ditunjukkan pada tabel 17. Data yang diperoleh dari pada sistem yaitu durasi lampu hijau, durasi lampu kuning, durasi lampu merah menyala bersama, dan durasi lampu merah. Tabel 18 menunjukkan hasil dari perhitungan durasi lampu hijau pada masing-masing ruas jalan. Jalur 1 (satu) diperoleh durasi waktu 12,034 detik, jalur 2 (dua) diperoleh durasi waktu 11,993 detik, dan jalur 3 (tiga) diperoleh durasi waktu 12,032 detik.

Tabel 17. Durasi Lampu Kondisi Macet

Jalur	Kondisi	Durasi Lampu (detik)						
Jalur 1	Macet	12	2	1	29			1
Jalur 2	Macet	14		1	12	2	1	15
Jalur 3	Macet	29			1	12	2	1

Tabel 18. Hasil Durasi Lampu Lalu Lintas Warna Hijau

No	Jalur	Pembacaan Sistem		Durasi Sistem (detik)	Rencana Durasi (detik)	Error (detik)	Error %
1	Jalur 1	31,847	19,813	12,034	12	0,034	0,0028
2	Jalur 2	46,871	34,878	11,993	12	0,007	0,0006
3	Jalur 3	61,904	49,872	12,032	12	0,032	0,0027
Rata-rata error						0,073	0,0020

Tabel 19. Hasil Durasi Lampu Lalu Lintas Warna Kuning

No	Jalur	Pembacaan Sistem		Durasi Sistem (detik)	Rencana Durasi (detik)	Error (detik)	Error %
1	Jalur 1	33,864	31,847	2,017	2	0,017	0,0085
2	Jalur 2	48,888	46,871	2,017	2	0,017	0,0085
3	Jalur 3	3,919	1,904	2,015	2	0,015	0,0075
Rata-rata error						0,049	0,0082

Tabel 20. Hasil Durasi Lampu Lalu Lintas Warna Merah Menyala Bersama

No	Jalur	Pembacaan Sistem		Durasi Sistem (detik)	Rencana Durasi (detik)	Error (detik)	Error %
1	Jalur 1 dan jalur 2	34,878	33,864	1,014	1	0,014	0,0140
2	Jalur 2 dan jalur 3	49,872	48,888	0,984	1	0,016	0,0160
3	Jalur 3 dan jalur 1	4,931	3,919	1,012	1	0,012	0,0120

Tabel 21. Hasil Durasi Lampu Lalu Lintas Warna Merah

No	Jalur	Pembacaan Sistem (detik)						Durasi Sistem (detik)	Rencana Durasi (detik)	Error (detik)	Error %
1	Jalur 1	11,993	2,017	0,984	12,032	2015	1,012	30,053	31	0,947	0,0305
2	Jalur 2	12,032	2,015	1,012	12,034	2,017	1,014	30,124	31	0,876	0,0283
3	Jalur 3	12,034	2,017	1,014	11,993	2,017	0,984	30,059	31	0,941	0,0304
Rata-rata error										2,764	0,0297

Tabel 19 menunjukkan hasil dari perhitungan durasi lampu kuning pada masing-masing ruas jalan. Jalur 1 (satu) diperoleh durasi waktu 2,017 detik, jalur 2 (dua) diperoleh durasi waktu 2,017 detik, dan jalur 3 (tiga) diperoleh durasi waktu 2,015 detik. Tabel 20 menunjukkan hasil dari perhitungan durasi lampu merah menyala bersama (*red all*) pada masing-masing ruas jalan. Jalur 1 (satu) diperoleh durasi waktu 1,014 detik, jalur 2 (dua) diperoleh durasi waktu 0,984 detik, dan jalur 3 (tiga) diperoleh durasi waktu 1,012 detik. Tabel 21 menunjukkan hasil dari perhitungan durasi lampu merah pada masing-masing ruas jalan. Jalur 1 (satu) diperoleh durasi waktu 30,053 detik, jalur 2 (dua) diperoleh durasi waktu 30,124 detik, dan jalur 3 (tiga) diperoleh durasi waktu 30,059 detik

Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian dan pembahasan yang telah dilakukan, dapat diambil beberapa kesimpulan. Pertama, penelitian ini telah merancang suatu sistem lampu lalu lintas adaptif berdasarkan panjang antrian kendaraan dengan melihat kondisi dari masing-masing ruas jalan. Berdasarkan pengujian sistem lampu lalu lintas adaptif berdasarkan panjang antrian kendaraan yang telah dilakukan memiliki tingkat rata-rata *error* durasi lampu hijau sebesar 0,0040 %, durasi lampu kuning sebesar 0,0092 %, dan durasi lampu merah sebesar 0,0204 %. Dalam pengembangan sistem ini diharapkan pada penelitian selanjutnya dapat menggunakan mikrokontroler yang memiliki pin input dan output lebih banyak seperti menggunakan arduino mega. Supaya dapat menggunakan sensor lebih banyak pada tiap ruas jalan, dan dapat mendeteksi kepadatan pada ruas jalan dengan lebih akurat.

Referensi

- Arief Sutisna, M. (2021). *Simulasi Traffic Light Dengan Arduino Uno*. 6(2), 68–75.
 Attamini, S., Machdani, A., & Husodo, B. (2019). *Sistem Kontrol Lampu Lalu Lintas Untuk Layanan Darurat Berbasis Internet Of Things (IoT)*.

- Cinthia Wikessa, P., Bambang Hidayat, I., & Dwi Atmaja, R. (2017). *Perancangan Aplikasi Deteksi Kemacetan Berdasarkan Audio Processing Menggunakan Metode Zero Crossing Rate Dan Average Energy Berbasis Android (Design Of The Congestion Detection Application Based on Audio Processing Using Zero Crossing Rate and Average Energy Based on Android)*.
- Deltania, D. O., Djuniadi, D., & Apriaskar, E. (2021). Pengaturan Lampu Lalu Lintas (Traffic Light) dengan Sensor Ultrasonik. *Jetri: Jurnal Ilmiah Teknik Elektro*, 77–95. <https://doi.org/10.25105/jetri.v19i1.8660>
- Dewantoro, A. K., Iwut, I., & Susatio, E. (n.d.). *Simulasi dan Analisis Sistem Penghitung Kepadatan lalu Lintas dan Klasifikasi Kendaraan Berbasis Webcam dengan Metode Background Subtraction Simulation and Analysis System Counters Traffic Density and Classification with Webcam Based Background Subtraction*.
- Djavendra, G. L., Aisyah, S., & Jamzuri, E. R. (2018). Desain Sistem Pengatur Lampu Lalu Lintas dengan Identifikasi Kepadatan Kendaraan Menggunakan Metode Subtraction. *Jurnal Nasional Teknik Elektro*, 7(2), 130. <https://doi.org/10.25077/jnte.v7n2.541.2018>
- Haekal, M., & Windarto. (2012). Aplikasi Pengatur Lampu Lalu Lintas Berbasis Arduino Mega 2560 Menggunakan Light Dependent Resistor (Ldr) Dan Lase, 3(2).
- Harits Ibrahim, M., Iwut Tritasmoro, I., & Novamizanti, L. (2020). Implementasi Sistem Kontrol Lampu Lalu Lintas Berdasarkan Suara Sirene PADA arduino Implementation of Traffic Light Control System Based on Siren Sound in Arduino. *Agustus*, 7(2), 3667.
- Hartanti, D., Ningrum, R. F., Djunaidi, K., Lingkar, J., Barat, L., Kosambi, D., & Barat, J. (2018). Perancangan Simulator Traffic Light Berdasarkan Gerakan Dan Kendali Antrian. *Jurnal Ilmiah FIFO*, 1.
- Hidayati, Q., Kendali, :, & Lalu, L. (2017). Kendali Lampu Lalu Lintas dengan Deteksi Kendaraan Menggunakan Metode Blob Detection. In *JNTETI* , 6(2).
- Jalan, P., Galang, P., Pancing, J. T., Jalan, D., Baru, T., Putra, W., Utama, P., Gede Sumanjaya, A. A., & Ardantha, M. (2017). Perencanaan Alat Pemberi Isyarat Lampu LALU lintas (apil) pada. *Paduraksa*, 6(2).
- Leksono, J. W., Indahwati, E., Yanuansa, N., & Ummah, I. (2019). *Modul Belajar Arduino Uno*.
- Musti, M. H. F., & Munadi, Dr. Ir. R. (2020). *Perancangan Pengaturan Lammpu Lalu Lintas Dengan Mendeteksi Panjang Antrian Dan Menghitung Jumlah Kendaraan (Design Of Traffic Setting By Detecting Length Of Queue And Calculating The Number Of Vehicles)*.
- Nurhidayat, E., Indra Septiana, A., Nursyah Putra, A., Syaripudin, A., Irawan Saputra Jurusan Teknik Elektro, D., Jenderal Achmad Yani, U., & Cimahi, K. (2018). Desain Sistem Kontrol Traffic Light Adaptif pada Empat Persimpangan Berbasis PLC Omron CP1E. *Ktrl.Inst (J.Auto.Ctrl.Inst)*, 10(1).
- Prasetya Utama, R., Hariyani, Y. S., & Aulia, S. (n.d.). *Rancang Bangun Lampu LALU lintas Otomatis Berdasarkan Panjang Antrian Kendaraan Berbasis Pengolahan Citra Digital*.
- Priutomo, D. A., Magdalena, I. R., & Andini, N. (2016). *Simulasi dan Analisis Sistem Smart Traffic Light Berbasis Pengolahan Citra Digital Dengan Metode Deteksi Tepi dan Segmentasi Simulation and Analysis of System Smart Traffic Light Based on Digital Image Processing with Edge Detection and Segmentation*.
- Rachmatullah, F. M., Hapsari, G. I., & Meisaroh, L. (2020). *Sistem Pengaturan Lampu Lalu Lintas Menggunakan Pengolahan Citra Digital*.
- Rondonuwu, A., & Pangemanan, T. (2019). Perancangan Sistem Kontrol Lampu Lalulintas Cerdas Dengan Menggunakan Mikrokontroler dan Kamera. In *JURNAL MIPA*, 8(3). <http://ejournal.unsrat.ac.id/index.php/jmuo>
- Simanungkalit, A., & Yasri, I. (2017). Aspek Perancangan Monitoring Antrian Kendaraan Pada Persimpangan Lampu Merah. In *Jom FTEKNIK*, 4(1).
- Wibawa, I. G. A., & Putri, L. A. A. R. (2016). Deteksi Kemacetan Lalu Lintas Jalan Raya Menggunakan Metode Moving Object Detection. *International Journal of Signal Processing, Image Processing and Pattern Recognition*, 8(3), 169–176. <https://doi.org/10.14257/ijcip.2015.8.3.15>
- Zulfikar, & Tarmizi, O. (2015). *Desain Sistem Kontrol Traffic Light Adaptif Pada Persimpangan Empat Berbasis Plc Siemens*, 4(1).