

**Gmail**

99+ Mail

Compose

Inbox 324

Starred

Snoozed

Sent

Drafts 1

More

Labels +

Search in mail

Active

Google

1 of 475

### [SMARTICS] Submission Acknowledgement External Inbox x

**Amak Yunus EP., S.Kom., M.Kom** <ejournal@unikama.ac.id> 9:45 PM (32 minutes ago)

to me, Yohanes

Hello,

Mohammad Hamim Zajuli Al Faroby has submitted the manuscript, "Sistem Kontrol Lampu Lalu Lintas Adaptif Untuk Kendaraan Prioritas Menggunakan Metode You Only Look Once (YOLO) dan Fuzzy Logic" to SMARTICS Journal.

If you have any questions, please contact me. Thank you for considering this journal as a venue for your work.

Amak Yunus EP., S.Kom., M.Kom

Reply Reply all Forward

# Sistem Kontrol Lampu Lalu Lintas Adaptif Untuk Kendaraan Prioritas Menggunakan Metode You Only Look Once (YOLO) dan Fuzzy Logic

Galih Dimas Prastowo<sup>a</sup>, Mohammad Hamim Zajuli Al Faroby<sup>b,\*</sup>, Yohanes Setiawan<sup>c</sup>

<sup>a,c</sup>Teknologi Informasi, Fakultas Teknologi Informasi dan Bisnis, Institut Teknologi Telkom Surabaya

<sup>b</sup>Sains Data, Fakultas Teknologi Informasi dan Bisnis, Institut Teknologi Telkom Surabaya

\*correspondence email : [alfaroby@ittelkom-sby.ac.id](mailto:alfaroby@ittelkom-sby.ac.id)

**Abstract**— Traffic congestion is one of the problems that hinder the performance of priority vehicles, especially when stuck in traffic jams at road intersections at busy times with traffic lights on red. This is due to the control of traffic lights that still use constant time on each side of the road. This study was conducted with the aim of setting up a control system that estimates the length of time the green light is on based on traffic density as well as providing a green light every time a priority vehicle passes. This study will use the You Only Look Once (YOLO) method to calculate vehicle detection labeling and predict priority vehicle distances, as well as fuzzy logic to determine the length of time the green light is on the dataset. The test of the data that has been trained on the traffic recording dataset obtained by the SITS Surabaya Intelligent Transport System application owned by ATCS (Area Traffic Control System) Surabaya. So that the results of this study are in the form of a simulation of a traffic light control system that is adaptive to priority vehicles and vehicle density. With a vehicle detection accuracy value of 89,66%. This research successfully implemented a simulation of an adaptive traffic light control system for priority vehicles to improve traffic efficiency and support the mobility of priority vehicles more safely and quickly.

**Keywords**— *You Only Look Once (YOLO), vehicle detection, traffic light control, fuzzy logic*

**Abstrak**— Kemacetan lalu lintas merupakan salah satu masalah yang menghambat kinerja dari kendaraan prioritas, terutama ketika terjebak macet di persimpangan jalan pada waktu sibuk dengan lampu lalu lintas menyala merah. Hal ini disebabkan karena kontrol lampu lalu lintas yang masih menggunakan waktu konstan di setiap sisi jalan. Penelitian ini dilakukan dengan tujuan untuk mengatur sistem kontrol yang memperkirakan lama waktu lampu hijau menyala berdasarkan kepadatan lalu lintas serta memberikan lampu hijau setiap kali kendaraan prioritas melintas. Penelitian ini akan menggunakan metode You Only Look Once (YOLO) untuk menghitung pelabelan deteksi kendaraan, serta fuzzy logic untuk menentukan lama waktu lampu hijau yang menyala pada dataset. Adapun pengujian data yang telah di train pada dataset rekaman lalu lintas yang diperoleh aplikasi SITS (Surabaya Intelligent Transport System) milik ATCS (Area Traffic Control System Surabaya). Sehingga hasil dari penelitian ini berupa simulasi sistem kontrol lampu lalu lintas yang adaptif terhadap kendaraan prioritas dan kepadatan kendaraan. Dengan nilai akurasi deteksi kendaraan 89,66%. Penelitian ini berhasil mengimplementasikan simulasi sistem kontrol lampu lalu lintas adaptif untuk kendaraan prioritas untuk meningkatkan efisiensi lalu lintas dan mendukung mobilitas kendaraan prioritas dengan lebih aman dan cepat.

**Kata Kunci**— *You Only Look Once (YOLO), deteksi kendaraan, kontrol lampu lalu lintas, fuzzy logic*

## I. PENDAHULUAN

Kemacetan lalu lintas sering terjadi di kota besar yang memiliki banyak penduduk, terutama pada persimpangan jalan. Kemacetan dapat diperparah ketika memasuki waktu produktif seperti berangkat atau pulang kerja/sekolah. Di Indonesia, sistem kontrol lampu lalu lintas masih menggunakan kontrol konvensional berdasarkan Programmable Logic Controller (PLC), beroperasi pada waktu tetap atau terus menerus (Sinyal lalu lintas pada waktu tetap) yang berarti bagaimanapun kondisinya pengendara tetap menunggu sesuai waktu yang ditetapkan. Hal itu merupakan salah satu penyebab terjadinya konsentrasi kendaraan pada persimpangan dengan lampu lalu lintas [1].

Kondisi jalan yang mengalami kemacetan mengharuskan kendaraan untuk menunggu sesuai durasi waktu sampai lampu hijau menyala, meskipun terdapat kondisi jalan yang kosong dengan lampu hijau

menyala. Keadaan tersebut membuat kondisi di jalan menjadi kurang efisien. Terutama saat kondisi darurat dimana kendaraan prioritas seperti ambulans dan pemadam kebakaran terjebak dalam kemacetan lalu lintas. Kondisi tersebut dapat mengganggu kinerja dari kendaraan prioritas, yaitu kendaraan yang memperoleh hak utama untuk diprioritaskan /didahulukan saat di jalan raya dalam menangani keadaan yang darurat.

Pada penelitian pertama dilakukan menggunakan metode color thresholding dan template matching telah mencapai tujuan penelitian. Namun penelitian ini memiliki kekurangan yaitu metode yang digunakan sangatlah bergantung pada faktor cahaya yang dapat mengubah data structure warna pada kendaraan [1]. Pada penelitian kedua mendapat hasil nilai Precision yang sempurna nilai Recall diatas 70%, dan F1 Score diatas 80%. Namun pada penelitian objek yang paling berhasil di deteksi adalah objek yang berukuran besar dan mobil karena kurangnya variasi data citra [2]. Pada penelitian ketiga hasil pengujian sistem metode Algoritma Fuzzy Logic dapat mengatur waktu penyalaan lampu hijau seperti cepat (1 detik), sedang1 (7 detik), sedang2 (14.5 detik), dan lama (24 detik) [3].

Berdasarkan penelitian sebelumnya, maka peneliti menggunakan YOLO untuk menghitung deteksi kendaraan serta mendeteksi kendaraan prioritas dan Fuzzy Logic berfungsi untuk pengatur waktu lampu lalu lintas berdasarkan tingkat kepadatan kendaraan dan deteksi kendaraan prioritas ke lampu lalu lintas. Penelitian ini akan dilakukan simulasi kontrol lampu lalu lintas untuk memperkirakan lama waktu lampu hijau berdasarkan kepadatan kendaraan deteksi deteksi kendaraan prioritas dari lampu lalu lintas sehingga dapat menjadi solusi bagi dinas terkait untuk mengurangi kepadatan kendaraan dipersimpangan jalan yang dapat mengganggu kinerja kendaraan prioritas.

## II. LANDASAN TEORI

### 2.1 Kendaraan

Kendaraan adalah alat transportasi yang digerakkan oleh mesin dan digunakan untuk berpindah – pindah lokasi [4]. Terdapat beberapa kelompok kendaraan yang ada di jalan raya. Berikut ini kelompok kendaraan yang diatur oleh pemerintah.

#### 2.1.1 Kendaraan Bermotor

Berdasarkan peraturan pemerintah No. 44 tahun 1993 tentang kendaraan dan pengemudi pasal 2 disebutkan bahwa kendaraan bermotor dikelompokkan ke dalam beberapa jenis, yaitu sepeda motor, mobil penumpang, mobil bus, mobil barang, dan mobil khusus [5].

#### 2.1.2 Kendaraan Prioritas

Dalam undang – undang No. 22 tahun 2009 tentang lalu lintas dan angkutan jalan pasal 134 disebutkan bahwa pengguna jalan yang memperoleh hak utama untuk diprioritaskan/didahulukan sesuai dengan urutan berikut.

1. Kendaraan pemadam kebakaran yang sedang melaksanakan tugas
2. Ambulans yang mengangkut orang sakit
3. Kendaraan untuk memberikan pertolongan pada kecelakaan Lalu Lintas
4. Kendaraan pimpinan Lembaga Negara Republik Indonesia
5. Kendaraan pimpinan dan pejabat negara asing serta lembaga internasional yang menjadi tamu negara
6. Iring-iringan pengantar jenazah dan
7. Konvoi dan/atau Kendaraan untuk kepentingan tertentu menurut pertimbangan petugas Kepolisian Negara Republik Indonesia [6].

### 2.2 Image Processing

Proses pengolahan citra diawali dengan akuisisi gambar. Umumnya, gambar dibagi menjadi fungsi dua dimensi  $f(a,b)$  dimana  $a$  dan  $b$  adalah koordinat spasial. Nilai fungsi di sembarang titik dikenal sebagai intensitas, juga dikenal sebagai tingkat keabuan dari gambar. Nilai intensitas sebanding dengan energi yang dipancarkan dari sumber fisik. Karena itu nilai piksel harus menjadi nol dan terbatas.

$$0 < f(a, b) < \infty \quad (1)$$

Diwakili dengan 256 level bervariasi dari 0 hingga 255. Persamaan yang umumnya digunakan untuk mengkonversi citra RGB truecolor 24-bit menjadi citra grayscale 8-bit seperti berikut.

$$0.3R + 0.59G + 0.11B \quad (2) [7].$$

### 2.3 Object Detection

Proses mendeteksi objek untuk menentukan posisi objek yang berada dalam gambar atau video (lokalisasi objek) dan memprediksi kelas objek mana yang dimiliki setiap objek (klasifikasi objek) dengan kotak pembatas dan koordinat setiap objek. Deteksi objek tradisional memiliki tahapan yang dibagi menjadi tiga tahap: informatif, pemilihan wilayah, ekstraksi fitur, dan klasifikasi [8].

### 2.4 Deep Learning

Deep Learning adalah jenis algoritma jaringan syaraf tiruan yang mengambil metadata sebagai masukan dan memprosesnya menggunakan beberapa lapisan tersembunyi dari transformasi nonlinier dari data masukan untuk menghitung nilai keluaran. Algoritma deep learning memiliki sifat yang unik yaitu sifat mampu melakukan decode secara otomatis. Ini berarti algoritma dapat secara otomatis menangkap fitur relevan yang diperlukan untuk menyelesaikan masalah. Algoritma seperti itu sangat penting dalam kecerdasan buatan karena dapat mengurangi upaya pemrograman untuk memilih fitur eksplisit. Algoritma ini dapat digunakan untuk menyelesaikan masalah yang memerlukan pengawasan (supervised), tanpa pengawasan (unsupervised), dan semi terawasi (semi supervised) [4].

### 2.5 You Only Look Once (YOLO)

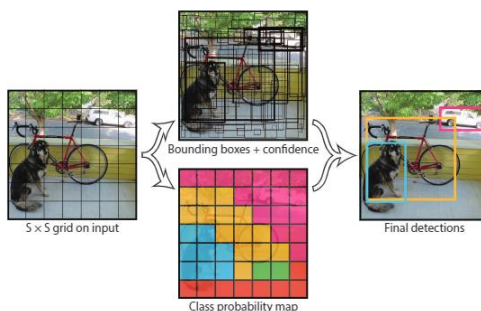
You Only Look Once (YOLO) dikembangkan untuk membuat proses satu langkah yang melibatkan deteksi dan klasifikasi. Yolo berbeda dengan algoritma sistem tradisional lainnya, dalam prediksi kotak pembatas dan prediksi kelas dilakukan bersamaan. Masukan gambar pertama dibagi menjadi  $S \times S$  grid. Setiap grid sel memiliki nilai confidence score yang merujuk pada Probabilitas sebuah objek ada di setiap kotak.

$$C = Pr(Object) * IOU_{pred}^{truth} \tag{3}$$

IOU merupakan intersection diatas union area yang tumpang tindih, mewakili sebuah fraksi antara 0 dan 1 [9]. Setiap sel grid juga memprediksi probabilitas kelas kondisi, Pr. Probabilitas ini ditentukan oleh sel kisi yang berisi objek. Sebagai pengujian, mengalikan probabilitas kelas bersyarat yang terkait dan memprediksi kepercayaan masing-masing sel.

$$Pr(Class_i | Object) * Pr(Object) * IOU_{pred}^{truth} = Pr(Class_i) * IOU_{pred}^{truth} \tag{4}$$

Skor ini mengkodekan probabilitas kelas yang muncul di dalam kotak dan seberapa cocok kotak yang diprediksi dengan kotak tersebut.



Gambar 1.  $S \times S$  grid untuk memprediksi bounding box dan dan class probabilitas [10].

### 2.6 Fuzzy Logic

Fuzzy logic adalah metode "penghitungan". dengan variabel kata - kata (variabel bahasa), seperti alternatif selain berhitung dengan bilangan. Fuzzy logic dapat dianggap sebagai pendekatan untuk memetakan input ke output. Dalam himpunan fuzzy logic, nilai keanggotaannya adalah antara 0 dan 1 [11]. Fuzzy Mamdani yang sering disebut sebagai metode max-min, adalah algoritma yang diciptakan oleh Ebrahim Mamdani tahun 1975. Dalam metode mamdani, terdapat 4 tahap proses yang dilakukan untuk mendapatkan hasil keluaran (output), yaitu :

1. Proses fuzzifikasi, untuk menentukan variabel input dan variabel output dibagi menjadi satu atau lebih himpunan fuzzy.
2. Fungsi implikasi menggunakan fungsi MIN.

3. Komposisi Aturan pada metode mamdani diperoleh dari proses inferensi. Terdapat tiga metode inferensi fuzzy yaitu max, additive, dan probabilistik OR. Metode inferensi yang digunakan adalah max.
4. Defuzzifikasi pada komposisi aturan fuzzy mamdani menggunakan metode centroid of area (COA) dengan  $y^*$  adalah nilai crisp dan  $\mu R(y)$  adalah derajat keanggotaan dari  $y$

$$y^* = \frac{\sum y\mu R(y)}{\sum \mu R(y)} \quad (5)$$

Perhitungan sistem inferensi fungsi mamdani diperoleh dari rentang nilai kriteria yang sudah ditentukan yang akan digunakan untuk menentukan waktu lampu lalu lintas [12].

### 2.7 Confusion Matrix

Confusion Matrix adalah pengukuran kinerja untuk masalah klasifikasi pada pembelajaran mesin. Keluaran confusion matrix bisa berupa dua kelas atau lebih, seperti pada gambar 2 dengan 4 kombinasi berbeda dari nilai prediksi dan aktual.

|          |             | Aktual      |             |
|----------|-------------|-------------|-------------|
|          |             | Positif (1) | Negatif (0) |
| Prediksi | Positif (1) | TP          | FP          |
|          | Negatif (0) | FN          | TN          |

Gambar 2. Confusion matrix

Pada confusion matrix diatas membandingkan klasifikasi prediksi positif dengan kondisi benar (true positif) dan prediksi negatif dengan kondisi salah (true negatif), serta prediksi positif dengan kondisi salah (false positif) dan prediksi negatif dengan kondisi salah (false negatif) kondisi salah (false positif) dan prediksi negatif dengan kondisi salah (false negatif). Berdasarkan perhitungan Confusion Matrix dapat dihitung nilai Precision, Recall dan Accuracy.

$$Precision = \frac{TP}{TP+FP} \quad (6)$$

$$Recall = \frac{TP}{TP + FN} \quad (7)$$

$$Accuracy = \frac{TP + TN}{TP + FP + FN + TN} \quad (8) [13].$$

## III. METODE PENELITIAN

### 3.1 Studi Literatur

Penelitian ini berdasarkan dari studi literatur jurnal ilmiah, review paper, dan buku. Studi literatur bertujuan untuk memberikan pengetahuan yang cukup dalam mengembangkan sistem dengan mencari referensi penelitian terdahulu yang sejenis. Hasil studi literatur adalah cara kerja sistem deteksi kendaraan dan kontrol lampu lalu lintas.

### 3.2 Pengumpulan Data

Pengumpulan data dilakukan sebagai penunjang penelitian ini. perekaman cctv lampu lalu lintas dilakukan pada aplikasi SITS dengan menggunakan alat rekam layar yang terdapat pada android smartphone seperti pada gambar 3.



Gambar 3. Perekaman layar aplikasi SITS

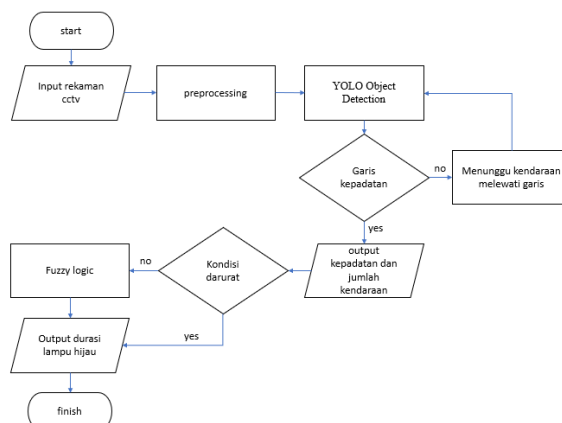
Kemudian hasil perekaman dilakukan pengcropan dengan ukuran lebar 540px dan tinggi 540px yang nantinya akan digunakan dalam penelitian ini.

**3.3 Preprocessing**

Tahapan preprocessing adalah proses mengklasifikasi objek gambar secara manual dan resize gambar menjadi lebar 416px dan tinggi 416px menggunakan platform roboflow untuk melakukan pelabelan objek secara manual menyimpan hasil gambar beserta “.txt” dalam folder data.

**3.4 Perancangan sistem**

Tahapan Perancangan sistem pada penelitian ini berupa flowchart sistem kerja program terlihat seperti pada gambar 4.



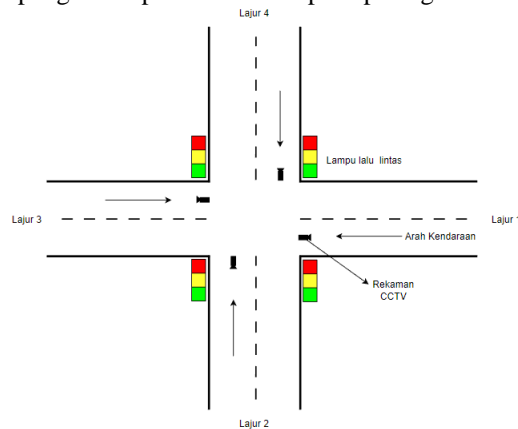
Gambar 4. Flowchart program sistem kontrol lampu lalu lintas

Dalam gambar program kontrol lampu lalu lintas, input rekaman dari kamera CCTV menjadi bahan penelitian utama. Tahap awal adalah preprocessing, dimana data disiapkan untuk melatih deteksi objek YOLO. YOLO dilatih dengan data yang telah diberi label manual oleh peneliti, dan setelah mencapai akurasi sekitar 80%, selanjutnya program akan mulai menghitung kendaraan yang melewati garis yang telah ditentukan. Garis tersebut adalah garis kepadatan yang berfungsi untuk mendeteksi jumlah kendaraan yang lewat. Hasil kepadatan dihitung berdasarkan garis dan jumlah kendaraan yang terdeteksi. Program akan menunggu sampai kendaraan melewati garis tersebut. Selain itu, program dapat mendeteksi kondisi darurat atau normal. Jika terdeteksi darurat, lampu hijau akan diberikan prioritas kepada kendaraan prioritas. Sedangkan dalam kondisi normal, waktu lampu hijau akan disesuaikan dengan kepadatan kendaraan menggunakan prinsip fuzzy logic, di mana tiga tingkat kepadatan didefinisikan: sedikit, sedang, dan padat.

**3.5 Pengujian**

Sistem akan diuji dari awal hingga akhir, dengan membuat simulasi persimpangan dengan software

peneliti. Dengan skema persimpangan lampu lalu lintas seperti pada gambar 5.



Gambar 5. Skema simulasi sistem kontrol lampu lalu lintas

Skema sistem ini terdiri dari rekaman cctv lampu lalu lintas pada setiap lajur yang digunakan untuk mendeteksi dan menghitung jumlah kendaraan yang ada. Informasi yang dihasilkan oleh YOLO kemudian diteruskan ke Fuzzy Logic, yang akan menentukan berapa lama waktu yang dibutuhkan lampu. Skema sistem dimulai dari lajur 1 dimana YOLO menghasilkan output jumlah kendaraan berdasarkan rekaman CCTV. Selanjutnya Fuzzy Logic akan menentukan waktu lampu hijau pada lajur 1, yang juga mempengaruhi lama waktu lampu merah pada lajur 2 dengan kurun waktu yang sama. Berlaku juga pada lajur yang selanjutnya dengan teknis yang sama. Pada skema darurat lajur yang mendeteksi kendaraan prioritas akan diberikan lampu hijau langsung hingga kendaraan prioritas melintas. Kemudian akan dimulai lampu lalu lintas akan dimulai kembali dengan jalur yang terpadat. Pada skema selanjutnya jika terjadi kondisi darurat pada salah satu jalur, lalu deteksi untuk jalur selanjutnya terdapat kondisi darurat, maka lampu lalu lintas pada kondisi darurat yang pertama kali akan diselesaikan terlebih dahulu, kemudian dilanjutkan ke jalur darurat yang ke dua. Luaran pengujian adalah analisis data dari sistem kontrol lampu setiap ruas jalan berdasarkan kepadatan dan deteksi kendaraan prioritas.

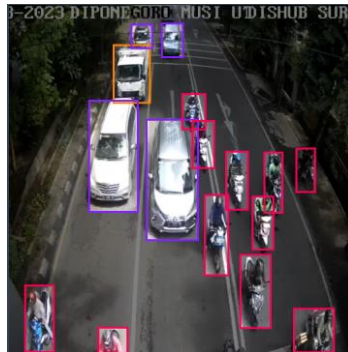
### 3.6 Analisis dan Kesimpulan

Pembahasan analisis keakuratan deteksi kendaraan oleh YOLO dan menganalisis keberhasilan fuzzy logic mengontrol waktu. Berdasarkan hal itu, akan ditarik kesimpulan pada penelitian ini.

## IV. Hasil dan Pembahasan

### 4.1 Data yang Digunakan

Dataset yang digunakan berupa video rekaman cctv aplikasi SITS. Video tersebut di edit dengan ukuran 540px x 540px melalui proses pengcropan. Dataset kemudian dilabeli menggunakan platform roboflow. Proses pelabelan dilakukan dengan mengunggah video yang diubah menjadi potongan gambar per frame. Selain itu, beberapa gambar dari data universe roboflow juga digunakan. Pelabelan dilakukan secara manual untuk mengidentifikasi 5 kelas objek, yaitu mobil, motor, truk, ambulance, dan pemadam kebakaran. Hasil pelabelan gambar pada dataset seperti pada gambar 6.



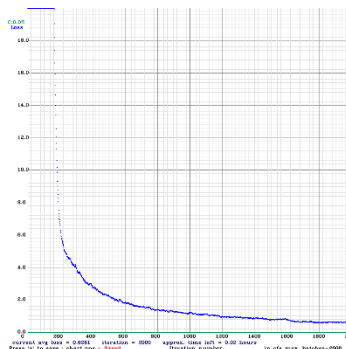
Gambar 6. Pelabelan dataset roboflow

### 4.2 Modeling Sistem

Dalam pemodelan sistem, akan diintegrasikan metode You Only Look Once (YOLO) dan Fuzzy Logic ke dalam sistem simulasi yang akan dibuat.

#### 4.2.1 Yolo

Pelatihan yolo v4 tiny dilakukan dengan menggunakan dataset yang telah dikumpulkan, diperoleh grafik loss training yolo v4 tiny yang telah dilakukan seperti pada gambar 7 dan dilakukan percobaan pada 75 gambar untuk mengukur performa model, hasil rata – rata, nilai tertinggi dan nilai terendah dari seluruh percobaan seperti pada tabel 1.



Gambar 7. Grafik loss training

Tabel 1. Pengujian gambar model

| No | TP | TN | FP | FN | Precision | Recall   | Akurasi  |
|----|----|----|----|----|-----------|----------|----------|
| 1  | 4  | 0  | 0  | 1  | 1         | 0.8      | 0.8      |
| 2  | 6  | 0  | 0  | 0  | 1         | 1        | 1        |
| 3  | 5  | 0  | 0  | 0  | 1         | 1        | 1        |
| 4  | 5  | 0  | 1  | 2  | 0.833333  | 0.714286 | 0.625    |
| 5  | 7  | 0  | 1  | 2  | 0.875     | 0.777778 | 0.7      |
| 6  | 6  | 0  | 0  | 0  | 1         | 1        | 1        |
| 7  | 3  | 0  | 1  | 2  | 0.75      | 0.6      | 0.5      |
| 8  | 9  | 0  | 0  | 2  | 1         | 0.9      | 0.9      |
| 9  | 8  | 0  | 0  | 0  | 1         | 1        | 1        |
| 10 | 7  | 0  | 0  | 0  | 1         | 1        | 1        |
| 11 | 2  | 0  | 0  | 0  | 1         | 1        | 1        |
| 12 | 10 | 0  | 0  | 0  | 1         | 1        | 1        |
| 13 | 3  | 0  | 0  | 0  | 1         | 1        | 1        |
| 14 | 1  | 0  | 0  | 0  | 1         | 1        | 1        |
| 15 | 3  | 0  | 0  | 0  | 1         | 1        | 1        |
| 16 | 1  | 0  | 0  | 0  | 1         | 1        | 1        |
| 17 | 2  | 0  | 0  | 0  | 1         | 1        | 1        |
| 18 | 3  | 0  | 1  | 0  | 0.75      | 1        | 0.75     |
| 19 | 4  | 0  | 0  | 0  | 1         | 1        | 1        |
| 20 | 4  | 0  | 0  | 0  | 1         | 1        | 1        |
| 21 | 3  | 0  | 0  | 0  | 1         | 1        | 1        |
| 22 | 3  | 0  | 1  | 0  | 0.75      | 1        | 0.75     |
| 23 | 3  | 0  | 0  | 0  | 1         | 1        | 1        |
| 24 | 3  | 0  | 0  | 1  | 1         | 0.75     | 0.75     |
| 25 | 5  | 0  | 1  | 0  | 0.833333  | 1        | 0.833333 |
| 26 | 8  | 0  | 1  | 0  | 0.888889  | 1        | 0.888889 |

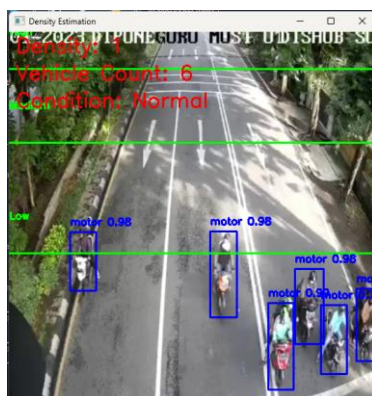


| No | TP | TN | FP | FN | Precision | Recall   | Akurasi  |
|----|----|----|----|----|-----------|----------|----------|
| 27 | 8  | 0  | 1  | 0  | 0.888889  | 1        | 0.888889 |
| 28 | 9  | 0  | 1  | 0  | 0.9       | 1        | 0.9      |
| 29 | 10 | 0  | 1  | 0  | 0.909091  | 1        | 0.909091 |
| 30 | 7  | 0  | 0  | 0  | 1         | 1        | 1        |
| 31 | 4  | 0  | 0  | 0  | 1         | 1        | 1        |
| 32 | 2  | 0  | 0  | 0  | 1         | 1        | 1        |
| 33 | 3  | 0  | 0  | 0  | 1         | 1        | 1        |
| 34 | 6  | 0  | 0  | 0  | 1         | 1        | 1        |
| 35 | 10 | 0  | 0  | 0  | 1         | 1        | 1        |
| 36 | 10 | 0  | 0  | 0  | 1         | 1        | 1        |
| 37 | 10 | 0  | 1  | 0  | 0.888889  | 1        | 0.888889 |
| 38 | 10 | 0  | 0  | 2  | 1         | 0.833333 | 0.833333 |
| 39 | 9  | 0  | 0  | 2  | 1         | 1        | 1        |
| 40 | 8  | 0  | 0  | 1  | 1         | 0.888889 | 0.888889 |
| 41 | 6  | 0  | 0  | 0  | 1         | 1        | 1        |
| 42 | 9  | 0  | 0  | 1  | 1         | 0.9      | 0.9      |
| 43 | 17 | 0  | 1  | 0  | 0.944444  | 1        | 0.944444 |
| 44 | 13 | 0  | 0  | 1  | 1         | 0.928571 | 0.928571 |
| 45 | 14 | 0  | 0  | 0  | 1         | 1        | 1        |
| 46 | 9  | 0  | 0  | 0  | 1         | 1        | 1        |
| 47 | 9  | 0  | 0  | 0  | 1         | 1        | 1        |
| 48 | 5  | 0  | 0  | 1  | 1         | 0.833333 | 0.833333 |
| 49 | 6  | 0  | 0  | 3  | 1         | 0.666667 | 0.666667 |
| 50 | 10 | 0  | 0  | 1  | 1         | 0.909091 | 0.909091 |
| 51 | 9  | 0  | 0  | 3  | 1         | 0.75     | 0.75     |
| 52 | 4  | 0  | 0  | 2  | 1         | 0.666667 | 0.666667 |
| 53 | 5  | 0  | 0  | 3  | 1         | 0.625    | 0.625    |
| 54 | 9  | 0  | 0  | 0  | 1         | 1        | 1        |
| 55 | 7  | 0  | 0  | 0  | 1         | 1        | 1        |
| 56 | 10 | 0  | 1  | 0  | 0.909091  | 1        | 0.909091 |
| 57 | 10 | 0  | 0  | 1  | 1         | 0.909091 | 0.909091 |
| 58 | 14 | 0  | 0  | 1  | 1         | 0.933333 | 0.933333 |
| 59 | 12 | 0  | 0  | 2  | 1         | 0.857143 | 0.857143 |
| 60 | 12 | 0  | 0  | 2  | 1         | 0.857143 | 0.857143 |
| 61 | 6  | 0  | 1  | 0  | 0.857143  | 1        | 0.857143 |
| 62 | 8  | 0  | 0  | 1  | 1         | 0.888889 | 0.888889 |
| 63 | 2  | 0  | 1  | 1  | 0.666667  | 0.666667 | 0.5      |
| 64 | 2  | 0  | 0  | 1  | 1         | 0.666667 | 0.666667 |
| 65 | 8  | 0  | 0  | 0  | 1         | 1        | 1        |
| 66 | 1  | 0  | 0  | 1  | 1         | 0.5      | 0.5      |
| 67 | 10 | 0  | 0  | 1  | 1         | 0.909091 | 0.909091 |
| 68 | 3  | 0  | 0  | 0  | 1         | 1        | 1        |
| 69 | 5  | 0  | 0  | 0  | 1         | 1        | 1        |
| 70 | 2  | 0  | 0  | 0  | 1         | 1        | 1        |

| No          | TP | TN | FP | FN | Precision | Recall   | Akurasi  |
|-------------|----|----|----|----|-----------|----------|----------|
| 71          | 3  | 0  | 1  | 1  | 0.75      | 0.75     | 0.6      |
| 72          | 8  | 0  | 0  | 0  | 1         | 1        | 1        |
| 73          | 8  | 0  | 0  | 0  | 1         | 1        | 1        |
| 74          | 8  | 0  | 0  | 0  | 1         | 1        | 1        |
| 75          | 10 | 0  | 0  | 2  | 1         | 0.833333 | 0.833333 |
| Rata - rata |    |    |    |    | 0.9652    | 0.9242   | 0.8966   |

Grafik loss di atas menunjukkan penurunan saat pelatihan berlangsung, menunjukkan konvergensi model yang lebih baik untuk model deteksi objek. Selanjutnya file weights “yolov4-tiny-custom-kendaraan\_final.weights” akan digunakan untuk melanjutkan ke proses deteksi objek pada gambar, sekaligus menghitung akurasi dari hasil pelatihan yolo pada data test sebelumnya. Pada deteksi kendaraan ditentukan nilai threshold confidence=0,5 sehingga jika terdapat objek yang dideteksi mempunyai nilai confidence yang kurang dari 0,5 maka deteksi tersebut dianggap memiliki tingkat kepercayaan rendah dan diabaikan.

Dari tabel performa model terdapat nilai yang cukup rendah. Hal ini disebabkan karena resolusi pada citra gambar cukup rendah dan objek kendaraan dapat tumpang tindih atau berdekatan sehingga hanya sebagian dari objek kendaraan yang terlihat. Dalam kasus resolusi citra gambar rendah seperti itu, penggunaan threshold confidence=0,5 yang cukup tinggi dapat mengakibatkan objek kendaraan tidak terdeteksi dengan baik. Dari keseluruhan percobaan gambar nilai rata – rata akurasi 89,66%, precision 96,52% dan recall 92,42%. Deteksi kendaraan di implementasikan akan menghasilkan jumlah kendaraan dan menggunakan garis sebagai hasil deteksi kepadatan. Garis deteksi yang digunakan ada 3 yaitu garis low, medium dan high seperti pada gambar 8.



Gambar 8. Garis deteksi

Berdasarkan gambar diatas dapat di evaluasi kondisi - kondisi untuk menentukan nilai density seperti pada tabel 2:

Tabel 2. Nilai Density

| No | KONDISI   | Density |
|----|---|---------|
| 1  | Jika tidak ada objek yang terdeteksi  | Empty   |
| 2  | Jika minimal satu objek terdeteksi dan berada di bawah line1                    | Low     |
| 3  | Jika minimal satu objek terdeteksi dan berada di bawah line2                    |         |
| 3a | Jika terdapat lebih dari satu objek dan objek kedua tidak berada di bawah line1 | Medium  |
| 3b | Jika tidak memenuhi kondisi di atas   | Low     |
| 4  | Jika minimal satu objek terdeteksi dan berada di bawah line3                    |         |
| 4a | Jika terdapat lebih dari satu objek dan objek kedua tidak berada di bawah line2 | High    |
| 4b | Jika tidak memenuhi kondisi di atas   | Medium  |
| 5  | Jika minimal satu objek terdeteksi dan tidak berada di bawah line2              |         |
| 5a | Jika terdapat lebih dari satu objek dan objek kedua tidak berada di bawah line1 | Low     |

#### 4.2.2 Fuzzy Logic

Sistem fuzzy logic, terdapat 2 variabel input yaitu kepadatan dan jumlah kendaraan, serta 1 variabel output yaitu durasi lampu hijau. Variabel density memiliki empat fungsi keanggotaan, yaitu Empty, Low, Medium, dan High. Nilai keanggotaan himpunan density sebagai berikut:

$$\mu_{Empty} = \begin{cases} 0, & z \leq 0 \\ \frac{(z-0)}{(0,5-0)}, & 0 \leq z \leq 0,5 \\ 1, & z \geq 0,5 \end{cases} \quad (9)$$

$$\mu_{Low} = \begin{cases} 0, & z \leq 0 \text{ atau } z \geq 1,5 \\ \frac{(z-0)}{(0,5-0)}, & 0 \leq z \leq 0,5 \\ \frac{(1,5-z)}{(1,5-0,5)}, & 0,5 \leq z \leq 1,5 \end{cases} \quad (10)$$

$$\mu_{Medium} = \begin{cases} 0, & z \leq 0,5 \text{ atau } z \geq 2,5 \\ \frac{(z-0,5)}{(1,5-0,5)}, & 0,5 \leq z \leq 1,5 \\ \frac{(2,5-z)}{(2,5-1,5)}, & 1,5 \leq z \leq 2,5 \end{cases} \quad (11)$$

$$\mu_{High} = \begin{cases} 0, & z \leq 1,5 \\ \frac{(z-1,5)}{(2,5-1,5)}, & 1,5 \leq z \leq 2,5 \\ 1, & z \geq 2,5 \end{cases} \quad (12)$$

Variabel jumlah kendaraan memiliki tiga fungsi keanggotaan, yaitu few, moderate, dan many. Nilai keanggotaan himpunan jumlah kendaraan sebagai berikut:

$$\mu_{Few} = \begin{cases} 1, & 0 \leq z \leq 5 \\ \frac{(5-z)}{(5-5)}, & 5 \leq z \leq 5 \\ 0, & z > 5 \end{cases} \quad (13)$$

$$\mu_{Moderate} = \begin{cases} 0, & z \leq 5 \\ \frac{(z-5)}{(10-5)}, & 5 \leq z \leq 10 \\ \frac{(15-z)}{(15-10)}, & 10 \leq z \leq 15 \\ 0, & z \geq 15 \end{cases} \quad (14)$$

$$\mu_{Many} = \begin{cases} 0, & z \leq 15 \\ \frac{(z-15)}{(21-15)}, & 15 \leq z \leq 21 \\ 1, & 21 \leq z \leq 100 \\ 1, & z \geq 100 \end{cases} \quad (15)$$

Variabel durasi lampu hijau memiliki tiga fungsi keanggotaan, yaitu short, medium, dan long. Nilai keanggotaan himpunan durasi lampu hijau sebagai berikut:

$$\mu_{Short} = \begin{cases} 1, & 0 \leq z \leq 0 \\ \frac{(20-z)}{20}, & 0 \leq z \leq 20 \\ 0, & z \geq 20 \end{cases} \quad (16)$$

$$\mu_{Medium} = \begin{cases} 0, & z \leq 0 \\ \frac{z}{20}, & 0 \leq z \leq 20 \\ \frac{(40-z)}{20}, & 20 \leq z \leq 40 \\ 0, & z \geq 40 \end{cases} \quad (17)$$

$$\mu_{Long} = \begin{cases} 0, & z \leq 20 \\ \frac{(z-20)}{20}, & 20 \leq z \leq 40 \\ \frac{(70-z)}{30}, & 40 \leq z \leq 70 \\ 0, & z \geq 70 \end{cases} \quad (18)$$

Berdasarkan fungsi - fungsi keanggotaan ketiga variabel diatas diterapkan aturan - aturan fuzzy seperti pada tabel 3.

Tabel 3. Aturan Fuzzy

| No | RULE |
|----|------|
|----|------|

|    |   |
|----|---|
| 1  | If tingkat kepadatan = Empty dan jumlah kendaraan = Few, then durasi lampu hijau = Short        |
| 2  | If tingkat kepadatan = Empty dan jumlah kendaraan = Moderate, then durasi lampu hijau = Short   |
| 3  | If tingkat kepadatan = Low dan jumlah kendaraan = Few, then durasi lampu hijau = Short          |
| 4  | If tingkat kepadatan = Low dan jumlah kendaraan = Moderate, then durasi lampu hijau = Medium    |
| 5  | If tingkat kepadatan = Medium dan jumlah kendaraan = Few, then durasi lampu hijau = Medium      |
| 6  | If tingkat kepadatan = Medium dan jumlah kendaraan = Moderate, then durasi lampu hijau = Medium |
| 7  | If tingkat kepadatan = Medium dan jumlah kendaraan = Many, then durasi lampu hijau = Long       |
| 8  | If tingkat kepadatan = High dan jumlah kendaraan = Few, then durasi lampu hijau = Short         |
| 9  | If tingkat kepadatan = High dan jumlah kendaraan = Moderate, then durasi lampu hijau = Long     |
| 10 | If tingkat kepadatan = High dan jumlah kendaraan = Many, then durasi lampu hijau = Long         |

Aturan-aturan tersebut menggambarkan hubungan antara tingkat kepadatan lalu lintas, jumlah kendaraan, dan durasi lampu hijau yang ditentukan dalam sistem kontrol fuzzy. Hasil penerapan aturan fuzzy logic pada deteksi video seperti pada gambar 9.

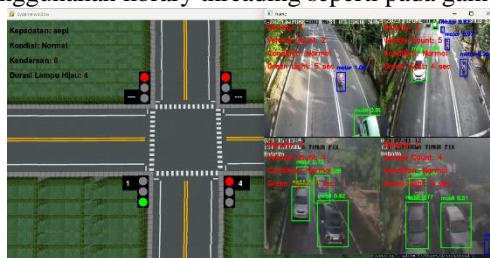


Gambar 9. Penerapan Fuzzy logic

Pada gambar 9, nilai kepadatan adalah 2 yang berarti kepadatan medium, jumlah kendaraan terdeteksi 7 kendaraan dan berdasarkan kepadatan dan jumlah kendaraan tersebut didapat durasi lampu lalu lintas yaitu 5 detik.

#### 4.2.3 Simulasi

Dalam proses menghubungkan deteksi objek dan fuzzy logic ke dalam pygame, agar menjadi simulasi lalu lintas yang diharapkan menggunakan library threading seperti pada gambar 10.



Gambar 10. Simulasi pygame (kondisi normal)

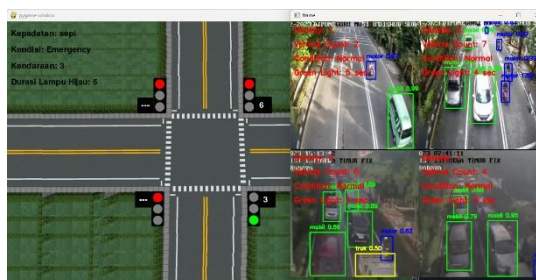
### 4.3 Pengujian

#### 4.3.1 Skema kondisi normal

Dalam kondisi lalu lintas normal sistem dapat menentukan durasi lampu hijau berdasarkan kepadatan dan jumlah kendaraan. Dimana jalur yang sedang berjalan akan mendeteksi durasi lampu hijau untuk jalur selanjutnya dan nantinya akan mempengaruhi lampu merah di jalur berikutnya seperti pada gambar 10. Pada jalur 2 berjalan lampu hijau ketika lampu hijau = 0, maka sistem akan menentukan durasi lampu hijau pada jalur 3 dan durasi lampu hijau di jalur 3 nanti akan mempengaruhi durasi lampu merah di jalur 4. Skema tersebut akan berjalan terus seperti itu untuk jalur - jalur selanjutnya.

### 4.3.2 Skema kondisi darurat

Dalam kondisi lalu lintas darurat, sistem dapat memberikan prioritas lampu hijau ketika terdeteksi kendaraan prioritas lampu hijau otomatis langsung diberikan pada jalur yang mengalami kondisi darurat seperti pada gambar 11.



Gambar 11. Simulasi pygame (kondisi darurat)

Kendaraan prioritas terdeteksi di jalur 3 lampu otomatis berganti hijau untuk jalur 3. Saat durasi lampu hijau=0, maka deteksi untuk jalur berikutnya dilakukan. Jika kondisi lalu lintas normal akan dicari jalur dengan durasi lampu hijau terlama. Sistem berhasil beralih dari kondisi darurat ke kondisi darurat seperti pada gambar 11. Adapun jika kondisi darurat seperti gambar 12 sistem dapat menentukan bahwa kondisi darurat pada jalur 3 diselesaikan hingga lampu hijau = 0 lalu berpindah ke jalur 1 seperti pada gambar 12.



Gambar 12. Simulasi pygame (kondisi darurat jalur 1)

Pada proses simulasi skema yang dilakukan setelah peralihan dari kondisi darurat ke normal dapat berjalan baik. Akan tetapi simulasi sistem tidak dapat mengetahui mana jalur yang sudah berjalan sehingga terdapat kemungkinan jalur yang berjalan dua kali dan ada yang tidak berjalan sama sekali pada satu kali putaran lampu lalu lintas. Kondisi tersebut terjadi dikarenakan masih kurang atau salahnya logika terhadap keadaan tersebut. Selain itu ketika terjadi kondisi darurat di 2 atau 4 sekaligus pada jalur. Sistem tidak dapat menentukan mana kondisi darurat yang lebih di prioritaskan. Dikarenakan sistem hanya menentukan kondisi berdasarkan pengolahan citra gambar video.

Dengan adanya sistem kontrol lampu lalu lintas adaptif untuk kendaraan prioritas ini harapannya dapat diimplementasikan secara langsung kedalam lampu lalu lintas nyata di jalan raya. Maka dengan adanya kontrol lampu lalu lintas adaptif untuk kendaraan prioritas yang dapat membantu kendaraan prioritas dalam mengurangi waktu tempuh perjalanan ketika menemui lampu merah di jalan raya. Pada penelitian ini masih perlu dikembangkan lagi dalam melakukan pengambilan sudut pandang, resolusi serta pada proses simulasi menentukan mana yang lebih didahulukan seperti yang dijelaskan pada paragraf sebelumnya.

## V. SIMPULAN

Number Berdasarkan pembahasan analisis sistem yang ada pada penelitian ini, dapat ditunjukkan sistem sistem kontrol lampu lalu lintas adaptif untuk kendaraan prioritas berhasil di implementasikan dalam simulasi persimpangan 4 jalur lampu lalu lintas. Pada tahap melakukan deteksi pada kendaraan ambulance, mobil, motor, pemadam, dan truk dengan menggunakan YOLO berhasil dilakukan dengan 75 percobaan pada gambar diperoleh nilai rata-rata akurasi 89,66%. Serta pada tahap fuzzy logic dapat menentukan durasi yang sesuai dengan aturan yang telah ditetapkan dengan input menggunakan informasi dari deteksi pada jalur. Selain itu juga pada pengujian 2 skema sistem pada simulasi persimpangan 4 jalur lampu lalu lintas dapat berjalan sesuai skema pengujian yang telah ditentukan.

**DAFTAR PUSTAKA**

- [1] A. Raditya, P. Falaki, F. Gozali, E. Djuana, and D. R. Rambung, "Pengolahan Citra Digital Berbasis Raspberry PI Pada Lampu Lalu Lintas Untuk Memberikan Prioritas Lampu Hijau Kepada Ambulans," 2022.
- [2] Khatami and M. Sauqi, "Deteksi Kendaraan Menggunakan Algoritma You Only Look Once (YOLO) V3," 2022.
- [3] F. H. Anas, S. Sumaryo, and E. Estananto, "Desain Dan Perancangan Prototype Lampu Lalu Lintas Untuk Mengatasi Kepadatan Dan Keadaan Darurat," *eProceedings of Engineering*, vol. 6, no. 2, Aug. 2019, Accessed: Dec. 18, 2022. [Online]. Available: <https://openlibrarypublications.telkomuniversity.ac.id/index.php/engineering/article/view/10393>
- [4] R. Isnaini, "TA: Aplikasi Penghitung Kendaraan yang Melintas di Jalan Raya Berdasarkan Metode Yolo Object Detection," 2020, Accessed: Dec. 14, 2022. [Online]. Available: <https://repository.dinamika.ac.id/id/eprint/5208/>
- [5] Indonesia, *Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 44 Tahun 1993 Tentang Kendaraan Dan Pengemudi*. Indonesia, 1993.
- [6] Republik Indonesia, *Undang - undang Republik Indonesia Nomor 22 Tahun 2009 Tentang Lalu Lintas Dan Angkutan Jalan*. Indonesia, 2009.
- [7] U. E. Prakash, A. Thankappan, K. T. Vishnupriya, and A. A. Balakrishnan, "Density based traffic control system using image processing," *2018 International Conference on Emerging Trends and Innovations In Engineering And Technological Research, ICETIETR 2018*, Nov. 2018, doi: 10.1109/ICETIETR.2018.8529111.
- [8] Z. Q. Zhao, P. Zheng, S. T. Xu, and X. Wu, "Object Detection with Deep Learning: A Review," *IEEE Transactions on Neural Networks and Learning Systems*, vol. 30, no. 11. Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc., pp. 3212–3232, Nov. 01, 2019. doi: 10.1109/TNNLS.2018.2876865.
- [9] N. Abe, Institute of Electrical and Electronics Engineers, and IEEE Computer Society, *2018 IEEE International Conference on Big Data : proceedings : Dec 10 - Dec 13, 2018, Seattle, WA, USA*. 2018.
- [10] J. Redmon, S. Divvala, R. Girshick, and A. Farhadi, "You Only Look Once: Unified, Real-Time Object Detection." [Online]. Available: <http://pjreddie.com/yolo/>
- [11] A. Setiawan, B. Yanto, and K. Yasdomi, *Logika Fuzzy Dengan MATLAB (Contoh Kasus Penelitian Penyakit Bayi dengan Fuzzy Tsukamoto)*. 2018. [Online]. Available: <http://jayapanguspress.org>
- [12] R. Primaswara Prasetya, "Implementasi Fuzzy Mamdani Pada Lampu Lalu Lintas Secara Adaptif Untuk Meminimalkan Waktu Tunggu Pengguna Jalan," 2020.
- [13] Sarang Narkhede, "Understanding Confusion Matrix," *Towards Data Science*, 2018. <https://towardsdatascience.com/understanding-confusion-matrix-a9ad42dcfd62> (accessed Dec. 21, 2022).