

Perancangan Smart Traffic Light Berbasis AI Terintegrasi Computer Vision dan Web Management

Muhammad Abdul Khafid¹, Irwan April Liansah², Diky Kristian Erlangga³

^{1,2,3}Teknik Informatika, Fakultas Teknik dan Ilmu Komputer, Universitas Nusantara PGRI Kediri

E-mail: ¹abdul18khafid@gmail.com, ²irwancious@gmail.com, ³dikykrastian.e@gmail.com

Abstrak – Kemacetan lalu lintas di kawasan perkotaan merupakan permasalahan kompleks yang dipengaruhi oleh pertumbuhan kendaraan, keterbatasan infrastruktur jalan, serta sistem pengendalian lalu lintas yang masih bersifat statis. Sistem traffic light konvensional belum mampu beradaptasi terhadap kondisi lalu lintas yang dinamis dan fluktuatif. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk merancang sebuah Smart Traffic Light System berbasis Artificial Intelligence dengan integrasi Computer Vision dan Web-Based Management sebagai solusi adaptif pengendalian persimpangan jalan. Metode penelitian yang digunakan adalah perancangan sistem prototipe yang mencakup akuisisi data multi-kamera, preprocessing data visual, deteksi kendaraan menggunakan algoritma YOLOv8, pengambilan keputusan adaptif menggunakan Feedforward Neural Network (FNN), serta manajemen sistem berbasis web sebagai controller dan integrator. Hasil penelitian berupa rancangan arsitektur sistem, alur kerja, skema pengambilan keputusan, serta visualisasi dashboard manajemen lalu lintas berbasis web. Rancangan ini diharapkan mampu meningkatkan efisiensi pengaturan waktu lampu lalu lintas secara real-time dan adaptif terhadap kepadatan kendaraan, serta menjadi dasar pengembangan sistem cerdas lalu lintas di masa mendatang.

Kata Kunci — smart traffic light, computer vision, artificial intelligence, YOLOv8, web-based management

1. PENDAHULUAN

Pertumbuhan jumlah kendaraan bermotor di kawasan perkotaan mengalami peningkatan yang signifikan seiring dengan perkembangan ekonomi dan urbanisasi. Kondisi ini berdampak langsung pada meningkatnya kepadatan lalu lintas, waktu tempuh perjalanan, konsumsi bahan bakar, serta emisi gas buang yang berkontribusi terhadap pencemaran lingkungan[1]. Salah satu titik kritis penyebab kemacetan lalu lintas adalah persimpangan jalan, khususnya yang masih menggunakan sistem *traffic light* konvensional dengan pengaturan waktu statis[2].

Sistem *traffic light* konvensional umumnya mengatur durasi lampu hijau, kuning, dan merah berdasarkan waktu tetap (*fixed-time control*) tanpa mempertimbangkan kondisi lalu lintas aktual di lapangan[3]. Akibatnya, sering terjadi ketidakseimbangan antara volume kendaraan dan durasi lampu hijau, seperti antrean panjang pada satu jalur sementara jalur lain relatif sepi. Kondisi ini menunjukkan bahwa sistem pengendalian lalu lintas statis tidak lagi efektif untuk menghadapi dinamika lalu lintas modern yang bersifat fluktuatif dan tidak terprediksi.

Seiring dengan perkembangan teknologi, pendekatan *Smart Traffic System* mulai banyak dikembangkan dengan memanfaatkan kemajuan di bidang *Artificial Intelligence* (AI), *Computer Vision*, dan *Internet of Things* (IoT)[4]. *Computer vision* memungkinkan sistem untuk memperoleh informasi lalu lintas secara langsung melalui analisis citra atau video, tanpa memerlukan sensor fisik tambahan yang mahal dan kompleks[5]. Salah satu algoritma *deep learning* yang banyak digunakan dalam deteksi objek secara *real-time* adalah *You Only Look Once* (YOLO), yang dikenal memiliki kecepatan dan akurasi tinggi[6]. Versi terbaru, YOLOv8, menawarkan peningkatan performa dalam mendeteksi objek kecil, stabilitas inferensi, serta efisiensi komputasi, sehingga sangat relevan untuk aplikasi lalu lintas perkotaan[7].

Namun, proses deteksi kendaraan saja belum cukup untuk menghasilkan sistem *traffic light* yang adaptif. Diperlukan sebuah mekanisme pengambilan keputusan cerdas yang mampu mengolah data kepadatan lalu lintas menjadi kebijakan pengaturan lampu secara dinamis. Dalam konteks ini, *Artificial Neural Network* (ANN), khususnya *Feedforward Neural Network* (FNN), bisa digunakan sebagai model pengambilan keputusan karena kemampuannya dalam menangani masalah klasifikasi dan prediksi dengan tingkat akurasi yang tinggi, serta kemudahan interpretasi struktur jaringan[8]. FNN dapat digunakan untuk menentukan durasi lampu hijau berdasarkan jumlah kendaraan, panjang antrean, dan waktu tunggu, sehingga sistem dapat menyesuaikan diri terhadap kondisi lalu lintas secara *real-time*.

Selain aspek deteksi dan pengambilan keputusan, sistem *smart traffic light* juga memerlukan mekanisme pengelolaan dan monitoring yang terintegrasi. *Web-based management system* berperan sebagai pusat kontrol dan integrasi data, memungkinkan operator untuk memantau kondisi lalu lintas, melihat data historis, serta melakukan intervensi manual jika diperlukan[9]. Pendekatan berbasis web juga mendukung skalabilitas sistem, kemudahan akses, dan integrasi dengan sistem transportasi cerdas lainnya.

Berdasarkan permasalahan tersebut, penelitian ini berfokus pada perancangan dan pengembangan prototipe *Smart Traffic Light System* berbasis *Artificial Intelligence* dengan integrasi *computer vision* multi-kamera dan *web-based management system*. Penelitian ini tidak melakukan implementasi perangkat lunak secara langsung,

melainkan menitikberatkan pada perancangan arsitektur sistem, alur kerja, serta model pengambilan keputusan adaptif sebagai dasar pengembangan sistem di masa mendatang. Diharapkan rancangan ini dapat menjadi referensi ilmiah dan teknis dalam pengembangan sistem pengendalian lalu lintas cerdas yang lebih efisien dan adaptif terhadap kondisi nyata.

2. METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan metode perancangan dan pengembangan prototipe sistem (*system design and prototyping*). Metode ini bertujuan untuk menghasilkan rancangan arsitektur, alur kerja, dan model pengambilan keputusan sistem smart traffic light secara konseptual dan terstruktur.

2.1 Rancangan Alat dan Spesifikasi

a. Rancangan Alat

Rancangan alat disusun untuk mendukung pengembangan prototipe *Smart Traffic Light System* berbasis *Artificial Intelligence* dengan integrasi *computer vision* dan *web-based management*. Sistem dirancang terdiri dari tiga komponen utama, yaitu:

- 1) sistem akuisisi data visual menggunakan kamera,
- 2) unit pemrosesan komputasi untuk menjalankan modul *computer vision* dan *Artificial Intelligence*,
- 3) sistem manajemen berbasis web sebagai pusat kontrol dan integrasi data.

Rancangan ini bersifat modular agar setiap komponen dapat dikembangkan dan diuji secara terpisah pada tahap implementasi di masa mendatang.

b. Spesifikasi Perangkat Keras

Spesifikasi perangkat keras dirancang untuk memastikan sistem mampu bekerja secara *real-time* dan adaptif terhadap kondisi lalu lintas perkotaan.

Tabel 1. *Spesifikasi Perangkat Keras Sistem*

Komponen	Spesifikasi Minimum	Keterangan Fungsi
Kamera CCTV/IP Mounting Kamera	Resolusi $\geq 720p$, 25–30 FPS, Wide Angle Tiang/bracket persimpangan	Akuisisi data visual lalu lintas Penempatan kamera optimal
Unit Komputasi	CPU Quad-Core, RAM ≥ 8 GB	Pemrosesan <i>computer vision</i> dan AI
GPU (opsional)	NVIDIA CUDA Support	Akselerasi inferensi YOLOv8
Jaringan	Ethernet / Wi-Fi	Transmisi data antar modul
Server Web	Lokal / VPS	Menjalankan sistem manajemen

Kamera dirancang dipasang pada setiap jalur persimpangan dengan sudut pandang yang mencakup area antrean kendaraan. Resolusi tinggi diperlukan untuk meningkatkan akurasi deteksi objek, khususnya pada kondisi lalu lintas padat dan kendaraan berukuran kecil seperti sepeda motor. Unit komputasi berfungsi sebagai pusat pemrosesan data visual dan pengambilan keputusan. Penggunaan GPU bersifat opsional, namun sangat disarankan untuk meningkatkan kecepatan inferensi YOLOv8 pada skenario *real-time*.

c. Spesifikasi Perangkat Lunak

Selain perangkat keras, sistem juga memerlukan rancangan perangkat lunak yang mendukung integrasi antar modul. Spesifikasi perangkat lunak yang dirancang ditunjukkan pada Tabel 2.

Tabel 2. *Spesifikasi Perangkat Lunak Sistem*

Komponen	Teknologi	Fungsi
Sistem Operasi	Linux / Windows	Lingkungan eksekusi
Modul Computer Vision	YOLOv8 (Python)	Deteksi kendaraan
Modul AI	Feedforward Neural Network	Pengambilan keputusan
Backend	REST API	Integrasi antar modul
Frontend	Web Dashboard	Monitoring & kontrol
Database	MySQL/PostgreSQL	Penyimpanan data

Rancangan perangkat lunak ini bersifat modular, sehingga setiap modul dapat dikembangkan dan diuji secara independen. Pendekatan ini memudahkan pengembangan lanjutan, pemeliharaan sistem, serta integrasi dengan sistem transportasi cerdas lainnya.

2.2 Akuisisi Data

Akuisisi data dilakukan menggunakan sistem multi-kamera yang dipasang pada setiap jalur persimpangan. Setiap kamera menangkap citra atau video lalu lintas secara *real-time*. Data visual ini menjadi sumber utama dalam mendeteksi jumlah kendaraan, jenis kendaraan, serta distribusi kendaraan pada setiap jalur. *Output* dari tahap akuisisi data berupa ID jalur, *timestamp*, *frame* citra/video.

2.3 Preprocessing Data

Data visual hasil akuisisi selanjutnya melalui tahap preprocessing untuk meningkatkan kualitas input sebelum diproses oleh modul *computer vision*. Pada tahapan ini, data citra dioptimalkan dengan teknik pengolahan citra seperti Gaussian Blur untuk menghasilkan data input yang lebih bersih dan tajam[10]. Adapun tahapan lengkap preprocessing meliputi:

- Resize frame* untuk menyesuaikan resolusi input YOLOv8
- Normalisasi pixel*
- Noise reduction* menggunakan *Gaussian Blur*
- Frame selection* untuk mengurangi redundansi data

2.4 Modul Computer Vision

Modul *computer vision* menggunakan algoritma YOLOv8 untuk melakukan deteksi kendaraan pada setiap *frame* citra yang diperoleh dari kamera. Algoritma YOLOv8 bekerja dengan memproses citra secara *end-to-end*, di mana citra dibagi ke dalam *grid* dan setiap *grid* digunakan untuk memprediksi *bounding box* serta kelas objek kendaraan secara simultan. Pendekatan ini memungkinkan proses deteksi dilakukan secara cepat dan efisien, sehingga sesuai untuk kebutuhan sistem lalu lintas yang bersifat *real-time*.

Output utama yang dihasilkan oleh modul *computer vision* meliputi:

- jumlah kendaraan pada setiap jalur,
- jenis kendaraan (sepeda motor, mobil, bus/truk),
- koordinat *bounding box* hasil deteksi,
- nilai *confidence score* untuk setiap objek terdeteksi.

Secara matematis, proses deteksi kendaraan menggunakan YOLOv8 dapat direpresentasikan sebagai suatu fungsi pemetaan dari citra input ke hasil deteksi objek, sebagaimana ditunjukkan pada persamaan (1).

$$D = f(I, \theta) \dots\dots\dots (1)$$

dengan keterangan:

- I merupakan citra input (*frame* kamera)
- θ adalah parameter model YOLOv8 (bobot hasil pelatihan)
- $f(\cdot)$ menyatakan fungsi *deep learning* berbasis *Convolutional Neural Network* pada YOLOv8
- D adalah keluaran berupa hasil deteksi objek kendaraan yang mencakup *bounding box*, kelas objek, dan *confidence score*.

2.5 Modul Artificial Intelligence (FNN)

Modul *Artificial Intelligence* menggunakan *Feedforward Neural Network* (FNN) sebagai mekanisme pengambil keputusan adaptif dalam menentukan durasi lampu lalu lintas. FNN menerima sejumlah parameter lalu lintas sebagai masukan, yang meliputi jumlah kendaraan per jalur, panjang antrean, dan waktu tunggu rata-rata. Parameter-parameter tersebut diproses melalui mekanisme propagasi maju (*forward propagation*) untuk menghasilkan keluaran berupa durasi waktu lampu hijau pada setiap jalur.

Secara matematis, proses perhitungan pada setiap neuron dalam FNN direpresentasikan oleh persamaan (2), yang menunjukkan operasi penjumlahan berbobot terhadap seluruh input, penambahan bias, serta penerapan fungsi aktivasi. Fungsi aktivasi yang digunakan pada jaringan ini adalah *Rectified Linear Unit* (ReLU) dan Softmax, yang bertujuan untuk meningkatkan kemampuan jaringan dalam memodelkan hubungan *non-linear* antar variabel input.

$$y = f(\sum_{i=1}^n w_i x_i + b) \dots\dots (2)$$

dengan keterangan:

- x_i merupakan nilai input ke- i (jumlah kendaraan, panjang antrean, waktu tunggu),
- w_i adalah bobot yang menghubungkan input ke- i dengan neuron,
- b adalah nilai bias,
- $f(\cdot)$ adalah fungsi aktivasi,
- y adalah output neuron.

Rumus ini menjelaskan bagaimana FNN memproses informasi lalu lintas secara *non-linear* untuk menghasilkan keputusan durasi lampu hijau yang adaptif.

2.6 Modul Web-Based Management

Modul *web-based management* berfungsi sebagai *controller* dan *integrator* seluruh sistem. Modul ini menyediakan *dashboard* untuk:

- Monitoring* kondisi lalu lintas *real-time*
- Visualisasi data historis
- Kontrol manual dan *override* sistem
- Manajemen kamera dan persimpangan

Modul ini dirancang berbasis REST API untuk komunikasi data antar modul[11].

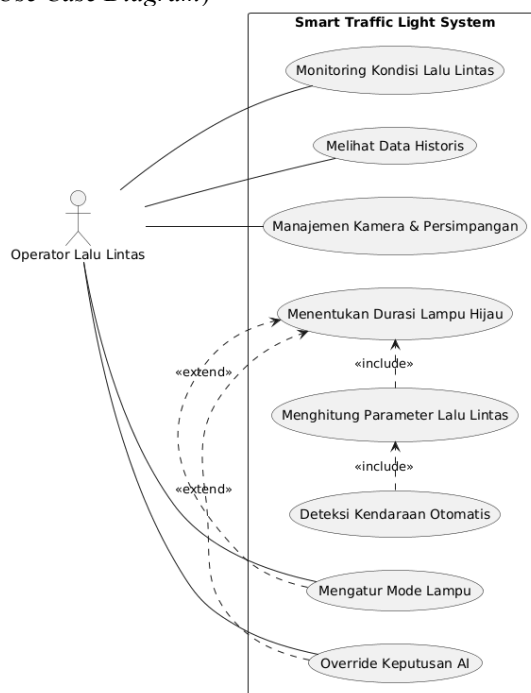
3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Bab ini menyajikan hasil penelitian dalam bentuk rancangan sistem dan prototipe konseptual *Smart Traffic Light System* berbasis *Artificial Intelligence*. Mengingat sistem masih berada pada tahap pengembangan, pembahasan difokuskan pada desain *arsitektur*, alur kerja modul, spesifikasi prototipe, serta analisis potensi kinerja sistem.

3.1 Alur Sistem Smart Traffic Light Secara Keseluruhan

Subbab ini menjelaskan alur kerja *Smart Traffic Light System* secara menyeluruh. Pembahasan difokuskan pada keterkaitan antar modul sistem mulai dari interaksi pengguna, proses otomatis sistem, hingga pengambilan keputusan dan monitoring. Untuk memperjelas alur tersebut, digunakan tiga representasi diagram, yaitu use case diagram, activity diagram, dan sequence diagram, yang saling melengkapi dalam menggambarkan fungsi, proses, dan urutan interaksi sistem.

- Alur Fungsional Sistem (*Use Case Diagram*)



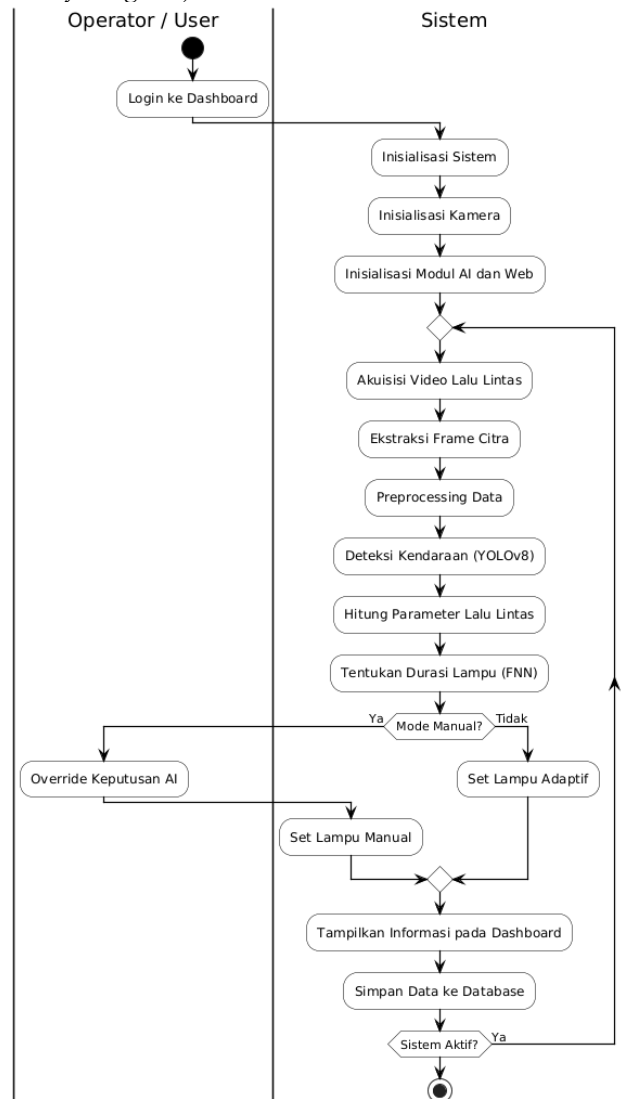
Gambar 1. *Use Case Diagram*

Use case diagram pada Gambar 1 menggambarkan interaksi antara Operator Lalu Lintas sebagai satu-satunya aktor eksternal dengan sistem *Smart Traffic Light System*. Operator berperan dalam melakukan monitoring kondisi lalu lintas secara *real-time*, melihat data historis, mengatur mode pengendalian lampu lalu lintas, serta melakukan *override* terhadap keputusan sistem apabila diperlukan.

Sementara itu, fungsi deteksi kendaraan, perhitungan parameter lalu lintas, dan penentuan durasi lampu hijau dimodelkan sebagai proses internal sistem yang berjalan secara otomatis. Hubungan *include* menunjukkan bahwa proses penentuan durasi lampu hijau selalu didahului oleh deteksi kendaraan dan perhitungan parameter lalu lintas. Adapun hubungan *extend* menunjukkan bahwa pengaturan mode lampu dan *override* oleh operator dapat memengaruhi keputusan durasi lampu hijau yang dihasilkan sistem. Use case diagram ini menegaskan bahwa rancangan sistem tetap mempertahankan konsep

human-in-the-loop, di mana sistem cerdas bekerja secara otomatis namun tetap berada dalam kendali operator.

b. Alur Proses Sistem (*Activity Diagram*)



Gambar 2. *Activity Diagram*

Activity diagram pada Gambar 2 digunakan untuk memodelkan alur kerja sistem secara menyeluruh, mulai dari interaksi awal pengguna hingga proses pengambilan keputusan adaptif dan pembaruan informasi secara real-time. Diagram ini disusun menggunakan pendekatan *swimlane* untuk memisahkan tanggung jawab antara Operator/User dan Sistem, sehingga alur proses menjadi lebih jelas dan terstruktur.

Proses diawali pada swimlane Operator/User dengan aktivitas login ke dashboard sistem. Aktivitas ini merupakan langkah awal untuk memastikan bahwa hanya pengguna yang memiliki hak akses yang dapat memantau dan mengendalikan sistem. Setelah proses login berhasil, alur berpindah ke swimlane Sistem, di mana dilakukan serangkaian proses inisialisasi, meliputi inisialisasi sistem secara keseluruhan, inisialisasi perangkat kamera pada setiap jalur persimpangan, inisialisasi modul *Artificial Intelligence* dan modul *web-based management*. Tahap inisialisasi ini memastikan bahwa seluruh komponen sistem siap beroperasi sebelum memasuki siklus pemrosesan utama.

Setelah inisialisasi selesai, sistem memasuki siklus pemrosesan utama yang berjalan secara berulang selama sistem dalam kondisi aktif. Siklus ini dimodelkan menggunakan struktur *repeat-while* yang merepresentasikan karakteristik sistem lalu lintas yang bersifat *real-time* dan kontinu.

Tahapan dalam siklus ini meliputi:

1. Akuisisi Video Lalu Lintas

Sistem menerima data video dari kamera CCTV yang terpasang pada setiap jalur persimpangan.

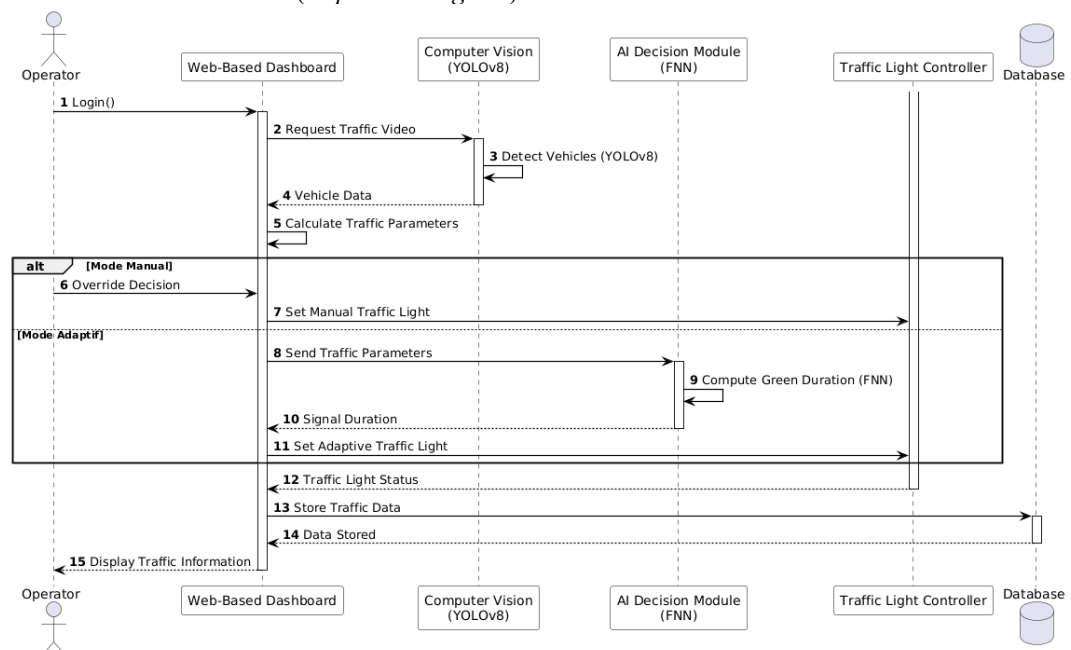
2. Ekstraksi Frame Citra
Video lalu lintas dipecah menjadi frame citra pada interval tertentu untuk mengurangi beban komputasi dan meningkatkan efisiensi pemrosesan.
3. Preprocessing Data
Frame citra diproses melalui tahapan preprocessing, seperti normalisasi dan reduksi noise, untuk meningkatkan kualitas data sebelum dilakukan deteksi objek.
4. Deteksi Kendaraan (YOLOv8)
Modul computer vision melakukan deteksi kendaraan pada setiap frame citra menggunakan algoritma YOLOv8, menghasilkan informasi jumlah dan jenis kendaraan.
5. Perhitungan Parameter Lalu Lintas
Berdasarkan hasil deteksi, sistem menghitung parameter lalu lintas, seperti jumlah kendaraan per jalur dan estimasi tingkat kepadatan.
6. Penentuan Durasi Lampu (FNN)
Parameter lalu lintas yang telah dihitung digunakan sebagai input bagi modul Artificial Intelligence berbasis Feedforward Neural Network (FNN) untuk menentukan durasi lampu hijau secara adaptif.

Berikutnya pada tahap percabangan mode pengendalian, sistem melakukan pengecekan terhadap mode pengendalian lampu lalu lintas. Jika sistem berada pada mode manual, maka alur berpindah ke swimlane Operator/User, di mana operator dapat melakukan *override* terhadap keputusan AI. Selanjutnya, sistem akan mengatur lampu lalu lintas sesuai dengan pengaturan manual yang diberikan. Jika sistem berada pada mode adaptif, maka sistem secara otomatis mengatur lampu lalu lintas berdasarkan hasil keputusan FNN tanpa intervensi operator. Percabangan ini menunjukkan fleksibilitas sistem dalam mengakomodasi pengendalian otomatis maupun manual sesuai kebutuhan operasional.

Setelah pengaturan lampu lalu lintas dilakukan, sistem menampilkan informasi kondisi lalu lintas dan status lampu pada dashboard web-based management, menyimpan data lalu lintas dan keputusan sistem ke dalam *database* sebagai arsip historis. Tahap ini memungkinkan operator untuk melakukan monitoring secara real-time serta mendukung analisis performa sistem di masa mendatang.

Siklus pemrosesan utama akan terus berjalan selama kondisi “Sistem Aktif” bernilai *Ya*. Ketika sistem dinonaktifkan, alur proses akan keluar dari siklus dan mencapai state akhir (stop). Hal ini menandakan berakhirnya seluruh aktivitas sistem secara terkontrol.

c. Alur Interaksi Antar Modul (*Sequence Diagram*)



Gambar 3. *Sequence Diagram*

Sequence diagram pada Gambar 3 digunakan untuk menggambarkan urutan interaksi antar aktor dan komponen sistem dalam *Smart Traffic Light System* secara kronologis. Diagram ini memodelkan

bagaimana data lalu lintas diproses mulai dari akuisisi citra hingga pengambilan keputusan pengaturan lampu lalu lintas secara adaptif maupun manual.

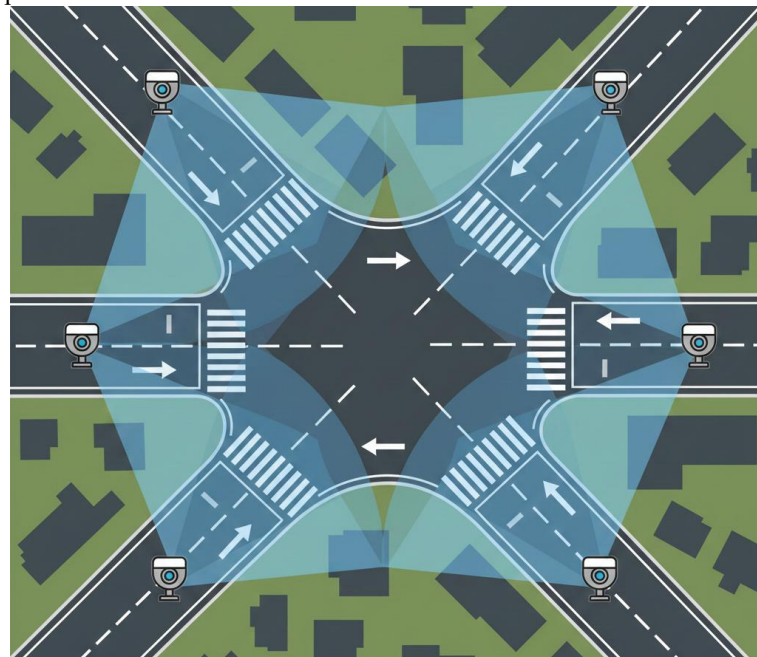
Proses diawali oleh Operator yang melakukan login ke *web-based dashboard* sebagai antarmuka utama sistem. Dashboard kemudian meminta data video lalu lintas kepada modul *Computer Vision* (YOLOv8). Modul ini melakukan proses deteksi kendaraan pada *frame* citra dan menghasilkan data berupa jumlah serta jenis kendaraan yang selanjutnya dikirim kembali ke dashboard. Berdasarkan data hasil deteksi, dashboard melakukan perhitungan parameter lalu lintas, seperti kepadatan kendaraan dan distribusi lalu lintas pada setiap jalur. Setelah itu, sistem melakukan percabangan alur berdasarkan mode pengendalian lampu lalu lintas.

Pada mode manual, operator dapat melakukan *override* terhadap keputusan sistem, sehingga dashboard langsung mengirimkan perintah pengaturan lampu lalu lintas secara manual ke Traffic Light Controller. Sebaliknya, pada mode adaptif, dashboard mengirimkan parameter lalu lintas ke modul *Artificial Intelligence* berbasis *Feedforward Neural Network* (FNN). Modul AI memproses data tersebut untuk menentukan durasi lampu hijau yang optimal dan mengirimkan hasil keputusan kembali ke dashboard. Selanjutnya, dashboard meneruskan perintah pengaturan lampu adaptif ke *traffic light controller*.

Setelah pengaturan lampu lalu lintas dijalankan, *traffic light controller* mengirimkan status terbaru ke dashboard. Seluruh data lalu lintas dan keputusan sistem kemudian disimpan ke dalam basis data sebagai data historis. Terakhir, dashboard menampilkan informasi kondisi lalu lintas dan status sistem kepada operator secara *real-time*.

3.2 Akuisisi Data

Tahap akuisisi data dirancang sebagai fondasi utama sistem. Prototipe sistem menggunakan multi-kamera CCTV yang ditempatkan pada setiap pendekat persimpangan. Kamera dirancang untuk menangkap kondisi lalu lintas secara *real-time* dengan sudut pandang yang mencakup area antrean kendaraan. Berikut visualisasi denah penempatan kamera pada Gambar 4 berikut.



Gambar 4. Denah Penempatan Kamera

Pada Gambar 4 menunjukkan bahwa pada setiap arah pada sebuah persimpangan akan ada kamera cctv yang digunakan untuk pengambilan data video yang akan diekstraksi menjadi *frame* citra dengan interval tertentu (misalnya 5–10 *frame* per detik) untuk kemudian diproses oleh modul *computer vision*. Hasil dari tahap ini berupa aliran data visual kontinu yang merepresentasikan kondisi lalu lintas aktual.

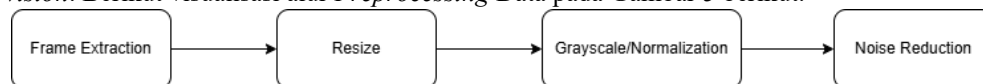
Rancangan akuisisi data multi-kamera memungkinkan sistem memperoleh representasi lalu lintas yang lebih komprehensif dibandingkan sensor tunggal atau *loop detector*. Pendekatan ini dinilai adaptif terhadap kondisi jalan perkotaan yang dinamis.

Tabel 3. Contoh Struktur Data Akuisisi

Kamera	Jalur	Timestamp	Status
C1	A	10:15:01	Aktif
C2	B	10:15:01	Aktif

3.3 Preprocessing Data

Tahap *preprocessing* berperan penting dalam meningkatkan kualitas data visual sebelum diproses oleh modul *computer vision*. Berikut visualisasi alur *Preprocessing* Data pada Gambar 5 berikut.



Gambar 5. *Preprocessing* Data

Pada Gambar 5 menunjukkan bahwa *Preprocessing* data dilakukan melalui beberapa tahap, mulai dari *Frame Extraction*, *Resize*, *Grayscale/Normalization*, dan *Noise Reduction*.

Hasil perancangan *preprocessing* menunjukkan bahwa normalisasi ukuran *frame* dan intensitas pixel dapat mengurangi variasi pencahayaan yang sering terjadi pada kondisi lalu lintas nyata, seperti perubahan cuaca dan perbedaan waktu siang dan malam.

Selain itu, penerapan *noise reduction* pada citra bertujuan untuk mengurangi gangguan visual yang dapat menyebabkan kesalahan deteksi objek. Dengan *preprocessing* yang terstruktur, citra input menjadi lebih konsisten dan stabil, sehingga meningkatkan keandalan sistem deteksi kendaraan berbasis YOLOv8.

Preprocessing juga dirancang untuk mengoptimalkan beban komputasi sistem. Dengan memilih *frame* tertentu (*frame selection*), sistem tidak perlu memproses seluruh *frame* video secara kontinu, sehingga efisiensi pemrosesan dapat ditingkatkan tanpa mengurangi kualitas informasi yang diperoleh.

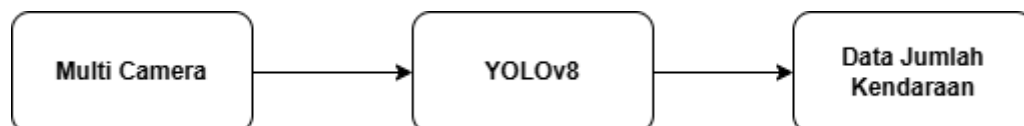
3.4 Modul *Computer Vision*

Modul *computer vision* dirancang menggunakan algoritma YOLOv8 sebagai inti sistem deteksi kendaraan. Hasil rancangan menunjukkan bahwa YOLOv8 mampu mendeteksi berbagai jenis kendaraan seperti sepeda motor, mobil, bus, dan truk dalam satu proses inferensi. Setiap objek kendaraan yang terdeteksi menghasilkan informasi berupa:

- kelas kendaraan,
- koordinat *bounding box*,
- confidence score*,
- serta identitas jalur dan timestamp.

Informasi ini kemudian diolah untuk menghitung jumlah kendaraan pada setiap jalur serta estimasi tingkat kepadatan lalu lintas. Keunggulan YOLOv8 dalam melakukan deteksi secara *real-time* menjadikannya sangat relevan untuk aplikasi *smart traffic light* yang membutuhkan respon cepat terhadap perubahan kondisi lalu lintas.

Pada tahap ini, hasil deteksi tidak langsung digunakan untuk mengontrol lampu lalu lintas, melainkan diproses lebih lanjut oleh modul AI. Hal ini menunjukkan adanya pemisahan peran yang jelas antara modul persepsi (*computer vision*) dan modul pengambilan keputusan (AI), sehingga sistem menjadi lebih modular dan mudah dikembangkan. Berikut visualisasi *Arsitektur Modul Computer Vision* pada Gambar 6 berikut.



Gambar 6. *Arsitektur Modul Computer Vision*

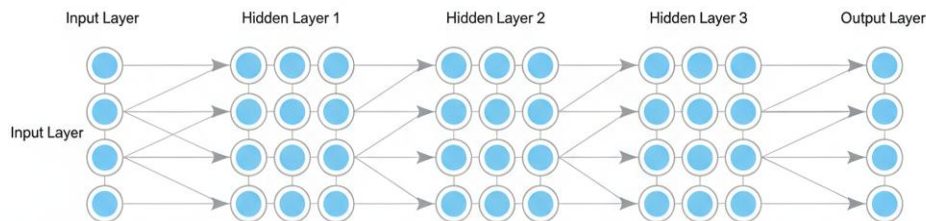
Pada Gambar 6 menunjukkan modul *computer vision* memiliki rangkaian sistem yang saling terhubung satu sama lain, mulai dari Camera yang mengirimkan data *frame* video yang kemudian dilakukan proses deteksi objek kendaraan oleh YOLOv8 sehingga mendapatkan data jumlah kendaraan.

3.5 Modul *Artificial Intelligence (FNN)*

Modul *Artificial Intelligence* dirancang menggunakan *Feedforward Neural Network (FNN)* sebagai mekanisme pengambil keputusan adaptif. Hasil perancangan menunjukkan bahwa FNN menerima input berupa parameter kuantitatif hasil deteksi kendaraan, seperti jumlah kendaraan per jalur, panjang antrian, dan estimasi waktu tunggu.

FNN memproses input tersebut melalui beberapa lapisan tersembunyi untuk menghasilkan output berupa durasi lampu hijau yang optimal bagi setiap jalur. Pendekatan ini memungkinkan sistem untuk menyesuaikan pengaturan lampu lalu lintas berdasarkan kondisi lalu lintas aktual, bukan berdasarkan waktu tetap.

Keunggulan penggunaan FNN terletak pada kemampuannya dalam memodelkan hubungan non-linear antara kepadatan kendaraan dan durasi lampu hijau. Dengan demikian, sistem dapat memberikan prioritas lebih pada jalur dengan kepadatan tinggi tanpa mengabaikan jalur lain, sehingga distribusi waktu lampu menjadi lebih seimbang dan adil. Berikut *Arsitektur Feedforward Neural Network* pada Gambar 7 berikut.



Gambar 7. Arsitektur Feedforward Neural Network

Pada Gambar 4 menunjukkan arsitektur ini terdiri dari lapisan-lapisan neuron yang saling terhubung. Pada lapisan pertama adalah Input Layer yang menerima data mentah (misalnya nilai piksel gambar atau fitur numerik) dan di lapisan pertama ini Jumlah neuron sesuai dengan jumlah fitur pada data. Pada lapisan kedua adalah *Hidden Layers* yang mana ini adalah inti dari *Deep Learning*. Setiap neuron di lapisan ini melakukan perhitungan matematika mulai dari mengalikan input dengan bobot (*weight*), menambahkannya dengan bias, lalu melewatkannya ke fungsi aktivasi (seperti ReLU atau Sigmoid). Kemudian pada lapisan ketiga adalah Output Layer yang mana pada lapisan ini akan menghasilkan prediksi akhir.

Setelah dilakukan proses pada modul FNN, selanjutnya akan menghasilkan output yang berupa sebuah keputusan. Berikut contoh output keputusan pada tabel 4 berikut.

Tabel 4. Contoh Output Keputusan FNN

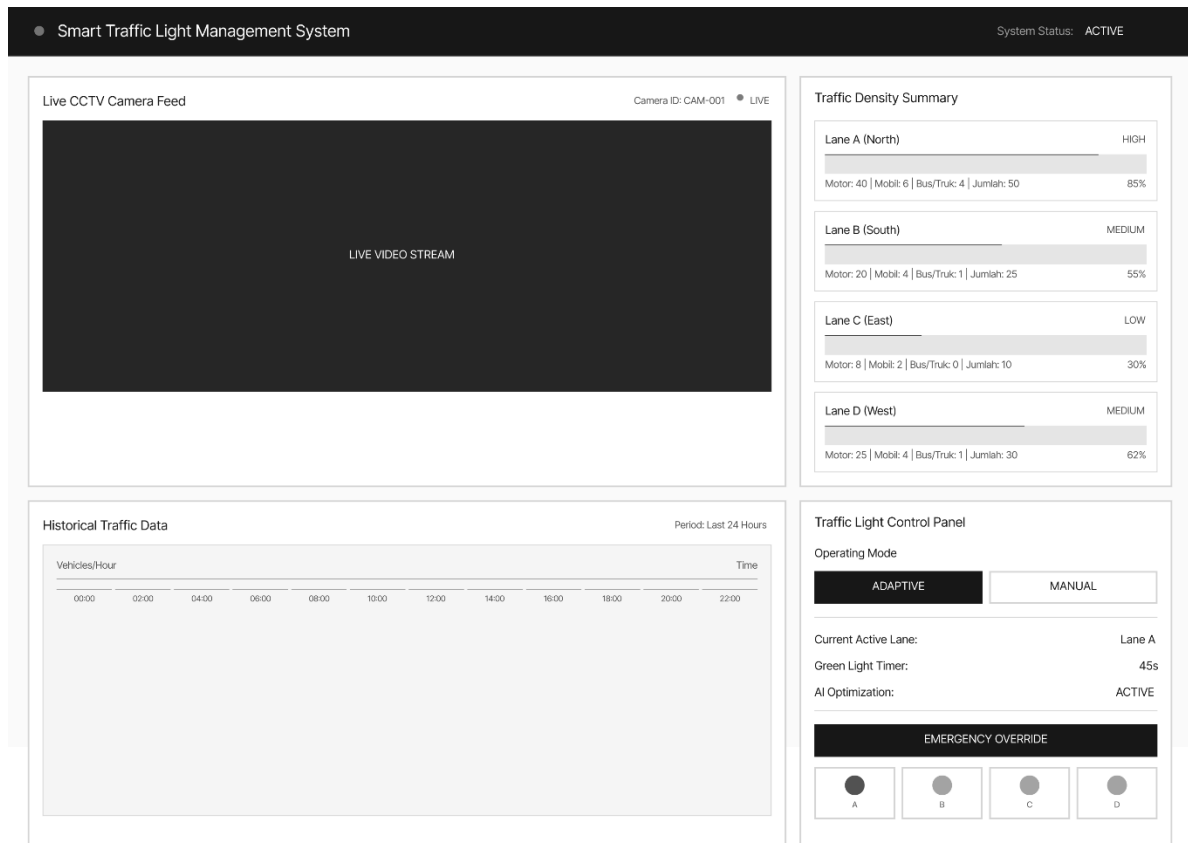
Jalur	Motor	Mobil	Bus/Truk	Jumlah Kendaraan	Durasi Hijau (detik)
A	15	6	4	25	45
B	6	3	1	10	25
C	10	2	2	14	29
D	5	3	0	8	15

3.6 Modul Web-Based Management

Hasil perancangan integrasi sistem menunjukkan bahwa *web-based management system* berperan sebagai pusat kontrol dan *integrator* seluruh modul. *Dashboard web* dirancang untuk menampilkan informasi kondisi lalu lintas secara *real-time*, termasuk jumlah kendaraan per jalur, status lampu lalu lintas, dan grafik kepadatan kendaraan.

Selain *monitoring*, sistem web juga menyediakan fitur kontrol manual yang memungkinkan operator melakukan *override* terhadap keputusan AI dalam kondisi tertentu, seperti keadaan darurat atau pengaturan khusus. Data historis yang tersimpan pada sistem web dapat digunakan untuk analisis lanjutan dan evaluasi performa sistem.

Integrasi berbasis web juga mendukung skalabilitas sistem, di mana satu *dashboard* dapat digunakan untuk memantau beberapa persimpangan sekaligus. Hal ini menjadikan rancangan sistem lebih fleksibel dan relevan untuk diterapkan pada skala kota. Berikut adalah *Wireframe Dashboard Web-Based Management* pada Gambar 8 berikut.



Gambar 8. Wireframe Dashboard Web-Based Management

Wireframe pada Gambar 8, menunjukkan rancangan antarmuka *dashboard web-based management* yang berfungsi sebagai pusat *monitoring*, pengendalian, dan integrasi sistem *Smart Traffic Light* berbasis *Artificial Intelligence*. Secara keseluruhan, tampilan dirancang satu layar (*single-screen dashboard*) tanpa *scrolling* untuk memastikan kemudahan pemantauan kondisi lalu lintas secara *real-time* oleh operator.

a. Header Sistem (*System Status Bar*)

1) *Smart Traffic Light Management System*

Bagian header menampilkan identitas sistem sebagai pusat kendali lalu lintas cerdas. Header ini berfungsi sebagai penanda bahwa seluruh data dan kontrol yang ditampilkan berasal dari satu sistem terintegrasi.

2) *System Status: ACTIVE*

Indikator status sistem menunjukkan kondisi operasional sistem secara keseluruhan. Terdapat 2 kondisi yaitu "*ACTIVE*" yang berarti sistem berjalan normal dan "*INACTIVE/ERROR*" yang berarti sistem mengalami gangguan. Informasi ini penting untuk memastikan bahwa modul Computer Vision, AI, dan Traffic Light Controller berada dalam kondisi siap operasi.

b. *Live CCTV Camera Feed*

Panel ini menampilkan streaming video real-time dari kamera CCTV yang terpasang di persimpangan lalu lintas. Adapun informasi yang ditampilkan yaitu:

1) *Camera ID (CAM-001)*: identifikasi kamera

2) *Status LIVE*: menandakan koneksi video aktif

3) Area video utama: hasil akuisisi citra yang diproses oleh modul Computer Vision (YOLOv8)

Video panel ini menjadi *input* utama bagi modul Computer Vision untuk deteksi kendaraan, klasifikasi jenis kendaraan dan ekstraksi data lalu lintas per jalur.

c. *Traffic Density Summary*

Panel ini menyajikan ringkasan kepadatan lalu lintas per jalur secara kuantitatif dan mudah dipahami oleh operator. Setiap jalur (Lane A–D) menampilkan:

1) Arah jalur (North, South, East, West)

2) Tingkat kepadatan (HIGH, MEDIUM, LOW)

3) Jumlah kendaraan per jenis (Motor, Mobil, Bus/Truk)

- 4) Total kendaraan
 - 5) Persentase kepadatan (%)
- Data pada panel ini merupakan hasil langsung pemrosesan YOLOv8, yang mendeteksi dan mengklasifikasikan kendaraan pada setiap frame citra. Informasi ini juga menjadi *input* utama modul AI (FNN) dalam menentukan durasi lampu hijau.
- d. *Historical Traffic Data*
- Panel ini menampilkan data historis volume lalu lintas dalam rentang waktu tertentu (misalnya 24 jam terakhir). Bentuk penyajian datanya berupa grafik jumlah kendaraan per jam dan sumbu waktu (*time-based visualization*). Manfaat data historis ini adalah untuk analisis pola lalu lintas harian, evaluasi kinerja sistem AI, dan referensi pengambilan keputusan jangka panjang. Data berasal dari *database* yang menyimpan hasil deteksi kendaraan dan keputusan sistem secara periodik.
- e. *Traffic Light Control Panel*
- Panel ini merupakan bagian kendali utama sistem. Samdksmakdmaslmd asdnklnsakldlksad skldklsads adksndklnsadnlaksnd.
- 1) Operating Mode
Menampilkan dua mode operasi, yaitu ADAPTIVE (sistem dikendalikan oleh AI FNN) dan MANUAL (operator mengatur lampu secara langsung).
 - 2) Current Active Lane
Menunjukkan jalur yang saat ini mendapatkan lampu hijau. Informasi ini penting untuk *monitoring real-time* dan validasi keputusan AI
 - 3) Green Light Timer
Menampilkan durasi lampu hijau aktif (dalam detik) yang dihasilkan oleh modul AI atau ditentukan secara manual oleh operator.
 - 4) AI Optimization Status
Indikator status apakah AI *Decision Module* sedang aktif atau tidak, misalnya ACTIVE yang berarti keputusan berbasis FNN digunakan dan INACTIVE yang berarti sistem manual.
 - 5) Emergency Override
Fitur ini memungkinkan operator melakukan pengendalian darurat, misalnya untuk kendaraan prioritas, kondisi darurat dan kemacetan ekstrem
- Tombol jalur (A–D) memberikan kontrol langsung terhadap lampu lalu lintas pada masing-masing jalur.

4. SIMPULAN

Berdasarkan hasil perancangan dan pembahasan yang telah dilakukan, dapat disimpulkan beberapa poin utama sebagai berikut:

- a. Penelitian ini berhasil merancang sebuah prototipe *Smart Traffic Light System* berbasis *Artificial Intelligence* yang mengintegrasikan teknologi *computer vision*, *Artificial Neural Network*, dan *web-based management system* sebagai solusi pengendalian lalu lintas adaptif di persimpangan jalan.
- b. Rancangan sistem menunjukkan bahwa penggunaan *computer vision* berbasis YOLOv8 mampu menyediakan data lalu lintas secara *real-time* berupa jumlah dan jenis kendaraan pada setiap jalur, sehingga mengurangi ketergantungan pada sensor fisik konvensional yang bersifat mahal dan kurang fleksibel.
- c. Modul *Artificial Intelligence* berbasis *Feedforward Neural Network (FNN)* dirancang sebagai pengambil keputusan adaptif yang mampu memetakan hubungan *non-linear* antara kepadatan lalu lintas dan durasi lampu hijau. Pendekatan ini memberikan potensi peningkatan efisiensi pengaturan waktu lampu dibandingkan sistem statis konvensional.
- d. Integrasi *web-based management system* memungkinkan sistem untuk dimonitor dan dikendalikan secara terpusat. *Dashboard* yang dirancang tidak hanya berfungsi sebagai media visualisasi data lalu lintas, tetapi juga sebagai sarana kontrol dan evaluasi sistem secara berkelanjutan.
- e. Meskipun penelitian ini belum sampai pada tahap implementasi dan pengujian di lapangan, hasil perancangan menunjukkan bahwa sistem yang diusulkan memiliki struktur modular, skalabel, dan layak untuk dikembangkan lebih lanjut menjadi sistem *smart traffic light* yang implementatif.
- f. Keterbatasan utama penelitian ini terletak pada belum dilakukannya pengujian performa sistem secara kuantitatif, seperti pengukuran akurasi deteksi, waktu respons sistem, dan dampak pengurangan kemacetan, sehingga hasil yang diperoleh masih bersifat konseptual.

5. SARAN

Berdasarkan keterbatasan dan potensi pengembangan yang telah diidentifikasi, maka beberapa saran untuk penelitian selanjutnya adalah sebagai berikut:

- a. Penelitian selanjutnya disarankan untuk melakukan implementasi sistem secara nyata menggunakan kamera IP dan perangkat komputasi tepi (*edge computing*) agar dapat menguji performa sistem dalam kondisi lalu lintas yang sesungguhnya.
- b. Diperlukan pengujian kuantitatif terhadap modul *computer vision*, seperti pengukuran akurasi deteksi kendaraan, precision, recall, dan kecepatan inferensi YOLOv8 pada berbagai kondisi pencahayaan dan cuaca.
- c. Modul *Artificial Intelligence* dapat dikembangkan lebih lanjut dengan menggunakan pendekatan *Reinforcement Learning* atau *Deep Q-Learning* sebagai pembanding *Feedforward Neural Network* untuk memperoleh kebijakan pengaturan lampu lalu lintas yang lebih optimal dan adaptif.
- d. Sistem *web-based management* dapat ditingkatkan dengan penambahan fitur analitik lanjutan, seperti prediksi kepadatan lalu lintas, *visualisasi heatmap*, serta integrasi dengan sistem transportasi cerdas lainnya.
- e. Penelitian lanjutan juga disarankan untuk melakukan studi perbandingan antara sistem *smart traffic light berbasis AI* dengan *sistem traffic light konvensional*, baik dari segi efisiensi waktu tunggu, panjang antrean, maupun dampak terhadap pengurangan kemacetan.
- f. Untuk meningkatkan keandalan sistem, aspek keamanan data dan privasi pengguna perlu diperhatikan, terutama dalam pengelolaan data video dan komunikasi antar modul berbasis jaringan.

6. DAFTAR PUSTAKA

- [1] D. F. Pida, K. N. Aini, and C. A. Putri, “Dampak Urbanisasi terhadap Perkembangan Kota di Indonesia : Tinjauan dari Aspek Ekonomi Pembangunan,” *WISSEN J. Ilmu Sos. dan Hum.*, no. 1, pp. 226–238, 2025.
- [2] S. D. Arvinda, E. Purnamasari, A. F. Ramadhan, A. Sah, and D. Aribowo, “Simulasi Traffic Light Persimpangan 4 Arah untuk Optimasi Alur Kendaraan Menggunakan Programmable Logic Controller (PLC) Omron CP1L,” *J. Penelit. Rumpun Ilmu Tek.*, vol. 4, no. 1, pp. 1–15, 2025.
- [3] A. Firmansyah, A. Suyadi, A. A. Khalish, and A. Zulhanudin, “Prototipe lampu lalu lintas menggunakan PLC dan SCADA berbasis computer vision dengan raspberry pi 4B,” *J. ELTEK*, vol. 23, no. 1, pp. 32–45, 2025, doi: 10.33795/eltek.v23i1.6380.
- [4] T. Informatika, U. B. Darma, T. Sutabri, T. Informatika, and U. B. Darma, “Integrasi Internet of Things (IoT) dan Kecerdasan Buatan (AI) untuk Smart City di Indonesia,” *J. Sains Student Res.*, vol. 3, no. 2, pp. 346–354, 2025.
- [5] E. Dilek, “Computer Vision Applications in Intelligent Transportation Systems : A Survey,” *Sensors*, 2023.
- [6] R. N. N. Lstm, T. Informatika, U. Putra, and I. Yptk, “Perbandingan Metode Deep Learning dalam Deteksi Kekerasan Fisik Berbasis Video : Studi Literatur pada CNN, RNN/LSTM, 3D-CNN, dan YOLO,” *J. Educ. Res.*, vol. 0738, no. 4, pp. 980–988, 2025.
- [7] J. M. Polgan *et al.*, “Evaluasi Performa Yolov8 Dalam Deteksi Objek Di Depan Kendaraan Dengan Variasi Kondisi Lingkungan,” *J. Minfo Polgan*, vol. 13, pp. 1755–1773, 2024.
- [8] R. Zebua *et al.*, *10 Metode SPK Favorit Di Masa Depan*. 2024.
- [9] R. E. A. Armya, L. M. Abdulrahman, N. M. Abdulkareem, and A. A. Salih, “Web-based Efficiency of Distributed Systems and IoT on Functionality of Smart City Applications,” *J. Smart Internet Things*, vol. 2023, no. 02, pp. 142–161, 2023, doi: 10.2478/jsiot-2023-0017.
- [10] L. Afriyanti, “Kombinasi Teknik Pemrosesan Citra untuk Peningkatan Pendeteksian Objek Pada Carla Simulator Combination of Image Processing Techniques to Improve Accuracy of Object Detection in CARLA Simulator,” *JIKO (JURNAL Inform. DANKOMPUTER)*, no. 3, pp. 524–538, 2025, doi: 10.26798/jiko.v9i3.1958.
- [11] R. K. Safitri, “Implementasi REST API untuk Komunikasi Antara ReactJS dan NodeJS (Studi Kasus : Modul Manajemen User Solusi247),” *Automata*, pp. 0–4, 2021.