



## **Pengembangan Sistem Kendali Cerdas Alat Pemberi Isyarat Lalu Lintas (APILL) Berbasis *Machine Learning***

**Saut Mampetua Siregar<sup>1</sup>, Enry Firmana<sup>2</sup>**

<sup>1</sup> Master of Electrical Engineering, Faculty of Engineering, Tanjungpura University, Pontianak, Indonesia

<sup>2</sup> Master of Electrical Engineering, Faculty of Engineering, Tanjungpura University, Pontianak, Indonesia

Email author: [sautms@gmail.com](mailto:sautms@gmail.com), [enryfirmana@gmail.com](mailto:enryfirmana@gmail.com)

### **Article Info**

#### **Article history:**

Received May 20, 2026

Revised May 21, 2026

Accepted June 28, 2026

Available: July 7, 2026

Published: July 30, 2026

#### **Keywords:**

Smart APILL;

Traffic Light;

YOLO;

Machine Learning;

Adaptif

### **ABSTRACT**

In modern cities, population growth directly contributes to an increase in the number of vehicles, leading to significant traffic problems and a decline in road service quality and capacity. Conventional traffic light control systems (APILL) that rely on fixed-time scheduling often fail to adapt to the dynamic nature of traffic conditions, potentially exacerbating congestion. This study proposes an innovative approach to traffic management by utilizing the YOLO (You Only Look Once) object detection algorithm. By analyzing CCTV streaming data at intersections, the system dynamically assesses traffic density, identifies vehicle types, and adjusts signal timings in real-time. Leveraging YOLO's ability to perform fast and accurate object detection, the system can respond to traffic conditions in a timely manner. This approach integrates Artificial Intelligence (AI) and Machine Learning techniques to address the urgent need for adaptive traffic management strategies in urban areas. The primary goals of this solution are to reduce congestion, improve traffic flow, and minimize environmental impact. Therefore, the integration of YOLO technology with adaptive traffic signal control algorithms represents a strategic step toward addressing the complex challenges of urban traffic congestion.

### **Corresponding Author:**

Saut Mampetua Siregar,

Universitas Tanjungpura Pontianak

Jl. Jend. Ahmad Yani, Pontianak

Email: [sautms@gmail.com](mailto:sautms@gmail.com)



## **1. INTRODUCTION**

Peningkatan jumlah penduduk, khususnya di kawasan perkotaan menyebabkan bertambahnya jumlah kendaraan bermotor yang menimbulkan berbagai permasalahan dalam sektor transportasi. Permasalahan tersebut meliputi keterlambatan perjalanan, peningkatan konsumsi bahan bakar, pencemaran udara, hingga gangguan kesehatan yang disebabkan oleh tingkat stres yang tinggi (Ayegbusi, 2025). Selain itu, penambahan jumlah kendaraan bermotor turut berkontribusi terhadap

kemacetan lalu lintas, penurunan kapasitas infrastruktur jalan, peningkatan angka pelanggaran lalu lintas, serta tingginya potensi terjadinya kecelakaan. Dalam menghadapi kompleksitas permasalahan tersebut, dibutuhkan sistem manajemen lalu lintas yang lebih cerdas, adaptif, dan efisien guna mendukung kelancaran dan keselamatan transportasi di wilayah perkotaan. APILL (Alat Pemberi Isyarat Lalu Lintas) adalah perangkat elektronik yang menggunakan isyarat lampu yang dapat dilengkapi isyarat bunyi untuk mengatur lalu lintas orang dan / atau kendaraan di persimpangan atau pada ruas jalan (PM Perhubungan No. 14 Tahun 2014). Pola dari pewaktuan sinyal APILL yang ada saat ini adalah sistem yang telah diprogram sebelumnya dengan rencana pewaktuan. Sistem tersebut tidak dapat menyesuaikan atau tidak dapat berubah pewaktuannya sesuai dengan kepadatan kendaraan sebenarnya di persimpangan bersinyal. Sistem kendali APILL yang masih konvensional dan belum adaptif menyebabkan kebisingan, polusi, meningkatnya emisi karbon dan pemborosan energi (RG Putra, 2021)

Untuk mengatasi masalah sistem kendali APILL konvensional diperlukan Sistem Pengendalian APILL yang cerdas, dalam arti dapat menyesuaikan diri dan mengambil keputusan secara cerdas terkait durasi pewaktuan yang dinamis sesuai panjang antrian kendaraan. Sistem konvensional juga tidak dapat mengubah skenario APILL mengatasi antrian kendaraan pada kejadian tertentu seperti perubahan cuaca atau ada keramaian yang menyebabkan meningkatnya jumlah kendaraan pada suatu waktu. Atas dasar itulah, topik yang diangkat pada tesis ini mengusulkan pengembangan sistem kendali APILL yang cerdas, dimana skenario pewaktuannya dapat berubah berdasarkan kondisi riil di lapangan. Dengan memanfaatkan teknologi *Machine Learning dan Internet of Things (IoT)*, CCTV yang dipasang di persimpangan jalan dapat dimanfaatkan sebagai sensor dan memproses gambar didapat untuk menilai kepadatan kendaraan secara adaptif, cerdas dan dinamis.

## 2. METHOD

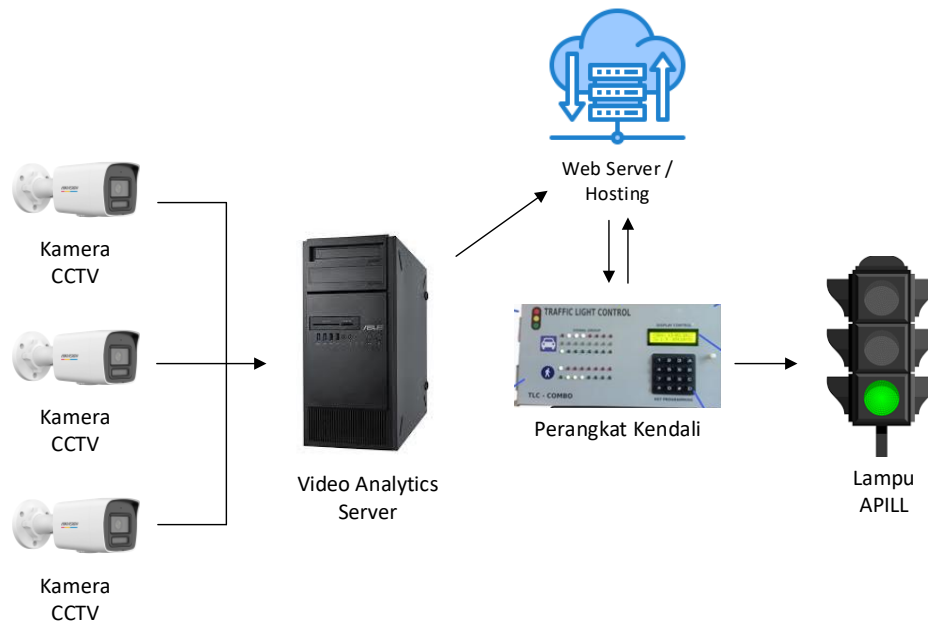
Penelitian ini dilaksanakan pada simpang tiga bersinyal dengan pendekat dari arah selatan, barat, dan utara yang diatur menggunakan Alat Pemberi Isyarat Lalu Lintas (APILL)

### 2.1 Peralatan yang dibutuhkan

Tabel 2.1 Peralatan Penelitian

No	Nama Alat	Kegunaan
1	Kamera CCTV yang dipasang pada persimpangan	Untuk mendapatkan video kendaraan yang antri pada persimpangan dengan APILL kemudian diproses oleh algoritma YOLO untuk mendeteksi dan mengklasifikasikan kendaraan
2	APILL lengkap beserta perangkat kendali yang sudah terhubung ke IoT	Berfungsi untuk mengatur dan mengendalikan lalu lintas pada persimpangan
3	PC dengan spesifikasi: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Intel Core i5</li> <li>• RAM 16 GB</li> <li>• GPU NVIDIA 6 GB</li> <li>• SSD 256</li> </ul>	Berfungsi sebagai <i>video analytic server</i> menampilkan video dan memproses kemudian menentukan panjang antrian kendaraan dan memberikan rekomendasi waktu hijau yang <i>real time</i>
4	Python, YOLO, OpenCV	Bahasa pemrograman pada penelitian ini

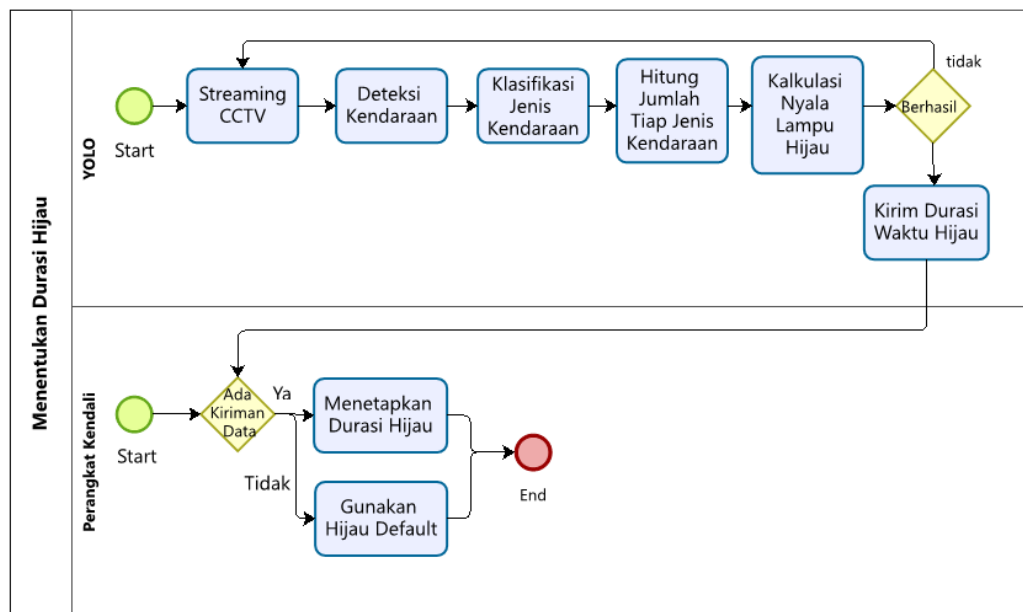
## 2.2. Perancangan Sistem



Gambar 2.1. Arsitektur APILL Cerdas

1. Kamera CCTV sebagai Sensor Visual  
Pada tahap awal, sistem dilengkapi dengan beberapa unit kamera CCTV yang ditempatkan di setiap lengan simpang untuk menangkap video lalu lintas secara real-time. Kamera ini berfungsi sebagai sensor visual yang mendeteksi kondisi lalu lintas secara terus-menerus.
2. Video Analytics Server dengan Model Deteksi YOLO  
Video dari CCTV kemudian dikirim ke Video Analytics Server, yaitu komputer server yang menjalankan sistem deteksi kendaraan secara otomatis. Server ini memanfaatkan model YOLO untuk mendeteksi dan mengklasifikasikan kendaraan berdasarkan jenisnya, seperti sepeda motor, mobil, dan truk.
3. Web Server / Hosting  
Output dari proses analitik di server dikirimkan ke Web Server Hosting dan akan diteruskan ke Perangkat Kendali. Selain itu web server menampilkan data lalu lintas secara real-time ke dashboard pemantauan.
4. Perangkat Kendali  
Menggunakan data dari web server untuk menentukan durasi lampu hijau secara adaptif. Perangkat ini mengatur transisi antar fase (hijau, kuning, merah) dan mengatur siklus sinyal berdasarkan data lalu lintas yang paling baru yang dikirim oleh web server.
5. Lampu APILL  
Tahap akhir dari arsitektur ini adalah lampu lalu lintas (APILL) yang akan menyala berdasarkan perintah dari perangkat kendali. Waktu hijau disesuaikan secara dinamis untuk mengakomodasi beban lalu lintas dari setiap arah. Sementara itu, durasi lampu kuning dan merah ditetapkan dengan waktu tetap sesuai standar keselamatan lalu lintas.

### 2.3. Proses Menentukan Durasi Waktu Hijau



Gambar 2.1. Proses Menentukan waktu Hijau

Dari gambar diatas, proses menentukan waktu hijau adalah sebagai berikut:

1. Deteksi Kendaraan  
Kamera CCTV yang terpasang pada tiang APILL mengalirkan video secara real-time. Sistem memanfaatkan *stream* video tersebut sebagai input untuk mendeteksi objek kendaraan di area pengamatan.
2. Klasifikasi dan Penghitungan Kendaraan  
Algoritma YOLO (You Only Look Once) digunakan untuk mendeteksi dan mengklasifikasikan kendaraan menjadi beberapa kategori seperti sepeda motor, mobil pribadi, dan truk/bus. Hasil klasifikasi ini kemudian dihitung untuk mendapatkan volume kendaraan per jenis dalam satu siklus waktu.
3. Penentuan Durasi Lampu Hijau  
Volume kendaraan yang telah dihitung dikonversi menjadi satuan mobil penumpang (smp) berdasarkan Pedoman Kapasitas Jalan Indonesia (PKJI 2023) [2]. Kemudian digunakan rumus perhitungan durasi hijau berdasarkan normalisasi linear atau kapasitas lalu lintas. Pengiriman Durasi ke Perangkat Kendali. Jika perhitungan berhasil, durasi lampu hijau dikirim ke perangkat kendali APILL.
4. Penetapan Durasi Lampu Hijau  
Perangkat kendali kemudian menetapkan waktu lampu hijau sesuai dengan durasi yang diterima. Sistem ini bekerja dinamis, memberikan waktu hijau lebih panjang jika volume kendaraan tinggi, dan sebaliknya.
5. Pemantauan Real-time oleh YOLO  
YOLO terus memproses input video secara real-time untuk mendeteksi perubahan jumlah kendaraan. Hal ini memungkinkan sistem selalu memperoleh data terbaru dari lingkungan lalu lintas. Hasil perhitungan dikirim ke perangkat kendali setiap 3 detik.
6. Pembaruan Durasi Berbasis Data Terbaru  
Perangkat kendali akan menetapkan ulang waktu hijau berdasarkan data terakhir yang diterima.
7. Durasi Tetap untuk Lampu Kuning dan Merah  
Untuk menjaga keamanan dan konsistensi pada saat transisi antar-fase, durasi lampu kuning dan merah ditetapkan secara tetap, masing-masing mengacu pada standar PKJI

## 2.4 Perhitungan Durasi Waktu Hijau

Durasi waktu hijau pada tiap fase ditentukan berdasarkan jumlah kendaraan yang terdeteksi pada arah tersebut. Volume kendaraan ini diklasifikasikan berdasarkan jenisnya (motor, mobil, bis / truk), kemudian dikonversi ke dalam satuan mobil penumpang (SMP) sesuai dengan Pedoman Kapasitas Jalan Indonesia (PKJI, 2023).

Pendekatan ini bertujuan untuk memberikan distribusi waktu yang proporsional terhadap beban lalu lintas yang aktual, sehingga dapat mengurangi waktu tunggu dan meningkatkan efisiensi aliran kendaraan.

Metode untuk menghitung durasi waktu hijau adalah dengan menggunakan rumus berikut:

$$G_i = G_{min} + \left(\frac{V_i}{V_{max}}\right) * (G_{max} - G_{min})$$

$G_i$  : Waktu hijau untuk fase i.

$G_{min}$  : Waktu hijau minimum

$G_{max}$  : Waktu hijau maksimum

$V_i$  : Volume kendaraan yang terdeteksi pada fase i.

$V_{max}$  : Volume maksimum kendaraan yang dapat ditangani dalam satu fase.

Pendekatan ini merupakan bentuk interpolasi linear yang memungkinkan distribusi waktu hijau secara proporsional terhadap tingkat kepadatan lalu lintas di setiap arah simpang. Dalam konteks ini, fase dengan volume kendaraan yang lebih besar akan memperoleh durasi hijau yang lebih panjang, namun tetap dalam batas kontrol minimum dan maksimum yang ditentukan. Pendekatan rumus diadopsi dari penelitian (Kamble, 2023), yang mengembangkan sistem pengaturan lampu lalu lintas adaptif berbasis YOLO dan OpenCV. Dalam penelitian tersebut, waktu hijau dihitung dengan memperhatikan kepadatan kendaraan dan diatur secara dinamis menggunakan rumus berbasis selisih kepadatan lalu lintas

## 3. RESULT DAN ANALISIS

### 3.1 Efektivitas YOLO sebagai Sensor Kendaraan

Untuk menguji performa sistem sebagai sensor pendeteksi kendaraan berbasis YOLO pada kondisi siang hari, dilakukan pengamatan di tiga arah simpang. Setiap hasil deteksi dari sistem kemudian dibandingkan dengan pengamatan manual.

Tabel 3.1 Perbandingan Hasil Deteksi Kendaraan arah Selatan

No	Jam	Hasil Deteksi YOLO			Pengamatan Manual		
		Mobil	Motor	Truk	Mobil	Motor	Truk/Bis
1	07:04:34	7	16	0	7	14	0
2	07:05:55	7	15	1	7	17	1
3	07:07:15	1	16	1	1	16	1
4	07:08:26	5	15	0	5	15	0
5	07:09:37	2	22	1	2	22	1
6	07:10:58	6	18	0	5	12	0
7	07:12:08	2	22	1	2	23	1

8	07:13:29	3	4	0	2	4	0
9	07:14:39	6	12	2	5	15	1
10	07:17:10	6	12	2	5	19	2
11	07:18:36	5	16	0	5	18	0

Tabel 3.2 Perbandingan Hasil Deteksi Kendaraan arah Barat

No	Jam	Hasil Deteksi YOLO			Pengamatan Manual		
		Mobil	Motor	Truk/Bis	Mobil	Motor	Truk/Bis
1	07:05:09	0	2	0	0	2	0
2	07:06:30	0	6	0	0	6	0
3	07:07:41	1	3	0	1	4	0
4	07:08:56	0	3	0	0	4	0
5	07:10:07	0	4	0	0	4	0
6	07:11:28	1	2	0	1	2	0
7	07:12:38	1	4	1	1	4	1
8	07:13:54	0	6	0	0	5	0
9	07:15:15	0	4	0	0	4	0
10	07:16:25	1	3	0	1	2	0
11	07:17:56	0	1	0	0	1	0

Tabel 3.3 Perbandingan Hasil Deteksi Kendaraan arah Utara

No	Jam	Hasil Deteksi YOLO			Pengamatan Manual		
		Mobil	Motor	Truk	Mobil	Motor	Truk/Bis
1	07:04:14	0	10	0	0	10	0
2	07:05:34	1	12	0	1	9	0
3	07:06:50	1	15	0	1	12	0
4	07:08:01	0	2	0	0	2	0
5	07:09:16	3	4	0	3	3	0
6	07:10:32	0	6	0	0	4	0
7	07:11:48	1	10	0	1	8	0
8	07:14:14	0	3	0	0	2	0
9	07:15:35	0	4	0	0	4	0
10	07:16:50	0	14	0	0	12	0
11	07:18:16	1	5	0	1	5	0



Gambar 3.1 Deteksi kendaraan pada siang hari dengan YOLO



Gambar 3.2 Deteksi kendaraan pada siang hari dengan Pengamatan Manual

Data log dari tiga kamera pengawas menunjukkan bahwa YOLO mampu mendeteksi kendaraan secara *real-time* dengan hasil yang mendekati akurasi pengamatan manual (*ground truth*). Dari total 33 sampel data (11 sampel per kamera), terdapat konsistensi antara hasil deteksi YOLO dan pengamatan langsung dalam hampir seluruh entri, dengan perbedaan yang tergolong kecil dan sporadis.

#### 1. Akurasi Deteksi

- Kamera 1 (Selatan): YOLO menunjukkan akurasi tinggi dalam mendeteksi mobil dan motor. Perbedaan nilai deteksi dibanding pengamatan Manual umumnya berkisar 0–2 unit, dengan pengecualian kecil pada motor (misalnya pada entry ke-6 dan ke-10).
- Kamera 2 (Barat): YOLO mendeteksi kendaraan dengan sangat baik pada volume lalu lintas rendah. Hampir semua hasil deteksi identik dengan pengamatan Manual, membuktikan efektivitasnya untuk arus lalu lintas ringan.
- Kamera 3 (Utara): Deteksi YOLO juga konsisten, meskipun sedikit fluktuasi ditemukan pada jumlah motor, khususnya saat jumlah kendaraan meningkat (misal, data ke-2 dan ke-3).

#### 2. Kinerja pada Berbagai Kondisi Lalu Lintas

Hasil menunjukkan bahwa YOLO bekerja dengan baik pada:

- Volume kendaraan rendah hingga sedang, seperti yang tercatat di Kamera 2 dan Kamera 3.

- b. Deteksi kendaraan bergerak cepat atau dalam grup pun tetap akurat, ditunjukkan pada Kamera 1 yang memiliki lalu lintas paling padat di antara ketiganya.
- 4. Ketepatan Klasifikasi Jenis Kendaraan  
YOLO secara umum mampu membedakan antara mobil, motor, dan truk secara akurat. Ketidaksesuaian yang muncul pada jenis truk hanya terjadi pada beberapa data (contohnya entry ke-9 dan ke-10 Kamera 1), namun tidak signifikan dalam skala keseluruhan.
- 5. Kesalahan Deteksi dan Potensi Perbaikan  
Kesalahan deteksi kecil yang terjadi dapat disebabkan oleh:
  - a. Overlap kendaraan / tertutup / terhalang (*occlusion*)
  - b. Kualitas pencahayaan dan resolusi gambar
  - c. Variasi bentuk kendaraan lokal yang mungkin tidak sepenuhnya terwakili dalam data pelatihan model

Secara umum, data log menunjukkan bahwa YOLO terbukti efektif sebagai sensor kendaraan berbasis penglihatan komputer (*computer vision*), dengan akurasi tinggi, deteksi *real-time*, dan kemampuan klasifikasi multi-kendaraan. YOLO dapat diandalkan untuk mendeteksi volume lalu lintas sebagai input perangkat kendali APILL adaptif.

Untuk menguji sistem terhadap kondisi minim cahaya, dilakukan pengujian pendeteksian kendaraan pada malam hari di tiga arah simpang menggunakan kamera CCTV. Hasil pendeteksian kemudian dibandingkan dengan data pengamatan langsung (*ground truth manual*).

Tabel 3.4 Perbandingan Hasil Deteksi Kendaraan arah Selatan pada malam hari

No	Waktu	Deteksi YOLO			Pengamatan Manual		
		Mobil	Motor	Truk/Bis	Mobil	Motor	Truk/Bis
1	18:41:07	9	1	0	14	14	0
2	18:42:28	7	3	0	9	18	0
3	18:43:38	8	0	0	4	10	0
4	18:44:54	9	0	0	10	10	0
5	18:46:19	7	0	0	7	5	1
6	18:47:39	6	0	1	10	19	0
7	18:48:55	8	1	0	9	11	0
8	18:50:05	5	1	0	7	8	0
9	18:51:26	13	0	0	10	9	0

Tabel 3.5 Perbandingan Hasil Deteksi Kendaraan arah Barat pada malam hari

No	Waktu	Deteksi YOLO			Pengamatan Manual		
		Mobil	Motor	Truk/Bis	Mobil	Motor	Truk/Bis
1	18:41:37	3	4	0	0	4	0
2	18:42:53	0	0	0	1	1	0
3	18:44:03	3	0	0	3	7	0
4	18:45:19	3	2	0	1	3	0
5	18:46:44	6	0	0	2	0	0
6	18:48:05	1	5	0	1	3	0
7	18:49:20	0	3	0	0	3	0
8	18:50:31	5	0	0	2	0	0
9	18:52:01	0	0	0	0	0	0

Tabel 3.6 Perbandingan Hasil Deteksi Kendaraan arah Utara pada malam hari

No	Waktu	Deteksi YOLO			Pengamatan Manual		
		Mobil	Motor	Truk/Bis	Mobil	Motor	Truk/Bis
1	18:41:58	1	5	0	1	7	0
2	18:43:13	1	0	0	4	6	0
3	18:44:28	1	4	0	1	4	0
4	18:45:44	10	3	0	5	5	0
5	18:47:14	4	6	0	4	8	0
6	18:48:30	2	7	0	2	7	0
7	18:49:40	0	2	1	0	10	1
8	18:51:01	3	5	0	3	6	0
9	18:52:21	1	6	0	1	6	0

Secara keseluruhan, performa YOLO dalam mendeteksi kendaraan pada malam hari menunjukkan penurunan, terutama dalam mendeteksi motor dan truk/bis. Menurunnya akurasi jumlah deteksi secara konsisten mengindikasikan bahwa sistem deteksi masih belum optimal dalam kondisi gelap. Hal ini kemungkinan besar disebabkan oleh keterbatasan kamera dalam menangkap citra berkualitas saat malam hari.

Penurunan performa deteksi disebabkan oleh beberapa faktor visual yang berkurang pada malam hari, antara lain minimnya pencahayaan, silau dari lampu kendaraan, dan penurunan kontras video secara keseluruhan. Hal ini menyebabkan bounding box YOLO sulit mengidentifikasi kontur kendaraan secara jelas. Terutama untuk motor, yang bentuknya lebih kecil dan sering berada di pinggir jalan, sistem cenderung gagal melakukan deteksi.



Gambar 4.3 Deteksi kendaraan pada malam hari dengan YOLO



Gambar 4.4 Deteksi kendaraan pada malam hari dengan pengamatan manual

### 3.2 Efisiensi Waktu Siklus APILL

Waktu siklus adalah total waktu yang dibutuhkan untuk satu putaran penuh dari semua indikasi lampu sinyal pada suatu persimpangan. Ini berarti dari mulai satu arah mendapatkan lampu hijau, kemudian kuning, merah, dan kembali hijau lagi, serta mencakup fase-fase untuk arah lainnya di persimpangan yang sama. Analisis dilakukan dengan membandingkan antara menggunakan sistem cerdas dan adaptif dengan sistem konvensional. Ujicoba dengan siklus sebanyak 6 kali.

Tabel 3.7 Perbandingan Waktu Siklus Konvensional dan Adaptif

No	Arah	Hijau Cerdas	Hijau Eksisting	Waktu Siklus Eksisting	Waktu Siklus Adaptif
1	Selatan	30	35	118	93
2	Barat	16	23		
3	Utara	14	27		
4	Selatan	27	35	118	90
5	Barat	13	23		
6	Utara	17	27		
7	Selatan	26	35	118	89
8	Barat	15	23		
9	Utara	15	27		
10	Selatan	16	35	118	70
11	Barat	11	23		
12	Utara	10	27		
13	Selatan	18	35	118	73
14	Barat	12	23		
15	Utara	10	27		
16	Selatan	10	35	118	66
17	Barat	13	23		
18	Utara	10	27		

Berdasarkan data hasil uji coba terlihat adanya perbedaan signifikan dalam pola waktu siklus antara sistem eksisting dan sistem cerdas adaptif. Sistem eksisting menggunakan waktu siklus tetap dengan durasi 35 detik untuk arah Selatan, 27 detik arah Utara dan 23 detik untuk satu arah Barat,

sehingga total waktu siklus per satu rotasi adalah konstan, yaitu 118 detik. Sebaliknya, pada sistem cerdas adaptif yang dikendalikan oleh deteksi kendaraan menggunakan algoritma YOLO, waktu siklus menunjukkan variasi yang dinamis antara 66 hingga 93 detik, tergantung pada kondisi lalu lintas yang terdeteksi. Waktu rata-rata siklus yang tercatat adalah sekitar 80,1 detik, yang berarti secara umum sistem adaptif mampu menghemat waktu sekitar 37,83 detik per siklus dibanding sistem konvensional.

### 3.3 Analisis Perbandingan Jumlah Siklus Sistem Cerdas dan Konvensional

Untuk mengevaluasi efisiensi sistem APILL cerdas dilakukan pengamatan terhadap jumlah siklus lampu lalu lintas dalam durasi waktu yang sama pada dua hari kerja yang berdekatan dengan karakteristik lalu lintas yang relatif mirip, yakni hari Rabu (sistem statis konvensional) dan Kamis (sistem cerdas), pada pukul 07.00 hingga 09.00 WIB.

Adapun tujuan dilakukan analisis ini adalah:

1. Mengukur frekuensi pelayanan lalu lintas  
Dengan menghitung jumlah siklus dalam periode waktu tertentu, dapat diketahui seberapa sering sistem memberikan layanan (fase hijau) kepada kendaraan dari berbagai arah. Semakin banyak jumlah siklus, semakin cepat rotasi antar fase, yang berpotensi menurunkan waktu tunggu.
2. Menganalisis efektivitas pengaturan waktu hijau secara adaptif  
Rata-rata durasi siklus mencerminkan seberapa efisien sistem dalam membagi waktu antar fase. Sistem cerdas yang mampu menyesuaikan durasi berdasarkan kondisi nyata di lapangan diharapkan menghasilkan durasi siklus yang lebih pendek dan efisien.
3. Penilaian efisiensi waktu tunggu dan *throughput* kendaraan  
Jumlah siklus yang lebih banyak dan durasi yang lebih singkat berkorelasi langsung dengan potensi pengurangan waktu tunggu kendaraan, peningkatan arus kendaraan, dan pengurangan kemacetan.

Pada sistem konvensional (Rabu), jumlah siklus tercatat sebanyak 68 siklus, konsisten dengan skenario pengaturan waktu tetap, di mana durasi masing-masing fase tidak berubah meskipun volume lalu lintas bervariasi. Sementara pada sistem cerdas dan adaptif (Kamis), jumlah siklus tercatat sebanyak 89 siklus, yang merupakan hasil dari pengaturan waktu hijau yang disesuaikan berdasarkan tingkat kepadatan kendaraan aktual yang terdeteksi oleh kamera.

Tabel 3.2 Perbandingan Jumlah Siklus Sistem Konvensional dan Cerdas

Sistem	Jumlah Siklus	Mobil	Motor	Truk/Bis	SMP
Konvensional	68	993	1215	107	1314,35
Cerdas	89	1093	1770	132	1530,1

Perbandingan ini menunjukkan bahwa sistem smart mampu meningkatkan jumlah siklus sebesar 30,8% dibandingkan sistem konvensional. Hal ini menunjukkan kelebihan dari sistem cerdas:

1. Memberikan rotasi fase lampu lebih cepat
2. Mengurangi waktu hijau yang tidak diperlukan
3. Meningkatkan efisiensi pelayanan lalu lintas

## 6. DISCUSSION/CONCLUSION

Sistem Deteksi Kendaraan Berbasis *machine learning* dengan algoritma YOLO berhasil mendeteksi dan mengklasifikasikan jenis kendaraan seperti sepeda motor, mobil, dan kendaraan berat (truk/bus)

dengan tingkat akurasi yang tinggi dalam kondisi pencahayaan dan cuaca yang bervariasi. Hal ini menunjukkan bahwa YOLO layak digunakan untuk aplikasi pengambilan keputusan lalu lintas secara *real-time*.

Pemanfaatan *streaming* RTSP CCTV sebagai sumber data visual memberikan gambaran lalu lintas yang aktual dan memungkinkan sistem untuk melakukan analisis beban lalu lintas per simpang secara berkelanjutan. Hal ini meningkatkan validitas sistem dalam mengukur kepadatan kendaraan dan memprioritaskan fase lampu hijau secara dinamis. Beberapa kesimpulan utama dapat dirumuskan sebagai berikut:

1. Penyesuaian Durasi Lampu Hijau dengan PKJI 2023 Sistem ini mampu menghitung waktu siklus dan durasi lampu hijau secara adaptif berdasarkan volume kendaraan yang terdeteksi, dengan acuan rumus dan parameter dari PKJI 2023. Ini memastikan bahwa penentuan waktu lampu lalu lintas tetap sesuai standar nasional yang berlaku.
2. Berdasarkan analisis data dari lokasi uji coba, sistem kendali cerdas berbasis *machine learning* menunjukkan efisiensi waktu tunggu kendaraan yang lebih baik dibanding sistem konvensional berbasis waktu tetap. Terjadi penurunan rata-rata waktu antrian dan peningkatan kelancaran arus lalu lintas.
3. Penerapan sistem adaptif berbasis YOLO dalam pengaturan lampu lalu lintas tidak hanya meningkatkan efisiensi waktu tunggu kendaraan, tetapi juga membuka potensi penghematan konsumsi bahan bakar kendaraan bermotor. Pengurangan waktu tunggu kendaraan berarti mengurangi waktu *idle* mesin, yang secara langsung menekan konsumsi BBM. Seiring dengan itu, berkurangnya pemborosan bahan bakar juga berkontribusi pada penurunan emisi gas rumah kaca, terutama karbon dioksida (CO<sub>2</sub>), sehingga mendukung upaya menjaga kualitas udara perkotaan dan pengurangan dampak lingkungan akibat transportasi.
4. Penambahan Penerangan di Lokasi APILL untuk meningkatkan akurasi deteksi kendaraan, terutama pada malam hari. Penerangan yang memadai akan membantu kamera dalam mengenali objek kendaraan dengan lebih akurat, mengurangi kesalahan deteksi akibat kondisi cahaya rendah, serta meningkatkan keandalan sistem secara keseluruhan.
5. Penggunaan kamera dengan kualitas tinggi dan fitur night vision sangat disarankan agar sistem tetap bekerja optimal dalam berbagai kondisi cuaca dan pencahayaan, terutama pada malam hari atau saat cuaca buruk.

## REFERENCES

- [1] Peraturan Menteri Perhubungan Republik Indonesia Nomor PM 49 Tahun 2024 Tentang Alat Pemberi Isyarat Lalu Lintas.
- [2] Pedoman Kapasitas Jalan Indonesia, Direktorat Jenderal Bina Marga, 2023.
- [3] V. B. Kamble, O. N. Mundhe, C. M. Walunjar, and G. A. Kale, "AI-Driven Smart Traffic Management System: An Adaptive Approach Using YOLO and OpenCV," *Golden Sun-Rise International Journal of Multidisciplinary on Science and Management*, vol. 2, no. 2, pp. 66–72, 2025, doi: 10.71141/30485037/V2I2P106.
- [4] O. Ayegbusi, A. Akinwumi, O. Ogbeide, A. Akingbesote, J. Obafemi, O. Akinrolabu, and O. Rotiba, "A Deep Learning-based Model for Traffic Signal Control using the YOLO Algorithm," *International Journal of Computer Applications*, vol. 186, pp. 43–54, 2025, doi: 10.5120/ijca2025924452.
- [5] A. H. Pratomo, W. Kaswidjanti, dan S. Mu'arifah, "Implementasi Algoritma Region Of Interest (ROI) untuk Meningkatkan Performa Algoritma Deteksi dan Klasifikasi Kendaraan," *Jurnal Teknologi Informasi dan Ilmu Komputer (JTIK)*, vol. 7, no. 1, hlm. 155–162, Feb. 2020, doi: 10.25126/jtiik.202071718.
- [6] D. S. A. Munasinghe, T. D. Waththegedara, I. R. Wickramasinghe, H. M. O. K. Herath, and V. Logeeshan, "Smart Traffic Light Control System Based on Traffic Density and Emergency Vehicle Detection," in *Proceedings of the 2022 Moratuwa Engineering Research Conference (MERCon)*, Moratuwa, Sri Lanka, 2022, pp. 1–6, doi: 10.1109/MERCon55799.2022.9906184.
- [7] D. Primasari, G. Ferdian R, Z. Aulia R, U. Tussyifaa, dan A. R. Wiranto, "Sistem Smart Traffic Light Menggunakan Algoritma Yolov8," *JTT (Jurnal Teknologi Terapan)*, vol. 10, no. 1, Mar. 2024.

- 
- [8] M. A. Ottom and A. Al-Omari, "An Adaptive Traffic Lights System using Machine Learning," The International Arab Journal of Information Technology, vol. 20, no. 3, Jan. 2023, doi: 10.34028/iajit/20/3/13.
- [9] M. Sahal, Z. Hidayat, Y. Bilfaqih, M. A. Hady, and Y. M. H. Tampubolon, "Smart Traffic Light Using YOLO Based Camera with Deep Reinforcement Learning Algorithm," JAREE (Journal on Advanced Research in Electrical Engineering), 2023.
- [10] Keputusan Direktur Jenderal Perhubungan Darat Nomor 273/HK.105/DJRD/96 Tentang Pedoman Teknis Pengaturan Lalu Lintas Di Persimpangan Berdiri Sendiri Dengan Alat Pemberi Isyarat Lalu Lintas.