

---

# Sistem Deteksi PPE (*Personal Protective Equipment*) Dalam Bidang Konstruksi Berbasis *Computer Vision* Dengan Metode YOLO

<sup>1</sup>Ableo Swares, <sup>2</sup>Dian Resha Agustina, <sup>3</sup>Linda Erlinda Sari

<sup>1</sup> Fakultas Ilmu Komputer, Institut Informatika dan Bisnis Darmajaya

<sup>2</sup> Fakultas Ilmu Komputer, Universitas Bandar Lampung, Bandar Lampung, Lampung.

<sup>3</sup> Fakultas Ilmu Komputer, Universitas Bandar Lampung, Bandar Lampung, Lampung.

email: [ableo.2421210007p@mail.darmajaya.ac.id](mailto:ableo.2421210007p@mail.darmajaya.ac.id)

## Abstract

*Work safety in the construction environment is a crucial aspect that must be maintained through compliance with the use of PPE (Personal Protective Equipment). This research aims to design and develop an automatic PPE completeness detection system by utilizing Computer Vision technology based on the YOLOv8 model. This system is implemented in the form of a web application that is able to receive input in the form of images, videos, and live cameras to detect five main types of PPE: helmets, vests, protective shoes, gloves, and goggles. The system is designed to be able to perform real-time detection and store the history of detection results automatically into the database. Test results show that the YOLOv8m model used provides high detection performance with mAP@0.5 values of 98.4% and mAP@0.5:0.95 values of 71.7%. Field testing also proved that the system is capable of operating with an average detection accuracy above 90% within an optimal distance of 1-2 meters, as well as a detection speed below 0.5 seconds per frame. Thus, this system is able to significantly increase the effectiveness of monitoring the standard use of PPE in the construction project area.*

**Keywords :** *Computer Vision; PPE Detection; Real-time; Work Safety; YOLOv8*

## Abstrak

Keselamatan kerja di lingkungan konstruksi merupakan aspek krusial yang harus dijaga melalui kepatuhan terhadap penggunaan Alat Pelindung Diri (APD) atau PPE (*Personal Protective Equipment*). Penelitian ini bertujuan untuk merancang dan mengembangkan sistem pendeteksi kelengkapan PPE secara otomatis dengan memanfaatkan teknologi *Computer Vision* berbasis model YOLOv8. Sistem ini diimplementasikan dalam bentuk aplikasi web yang mampu menerima input berupa gambar, video, maupun kamera langsung untuk mendeteksi lima jenis APD utama: helm, rompi, sepatu pelindung, sarung tangan, dan kacamata. Sistem dirancang untuk dapat melakukan deteksi secara *real-time* dan menyimpan riwayat hasil deteksi secara otomatis ke dalam basis data. Hasil pengujian menunjukkan bahwa model YOLOv8m yang digunakan memberikan performa deteksi tinggi dengan nilai mAP@0.5 sebesar 98.4% dan mAP@0.5:0.95 sebesar 71.7%. Pengujian lapangan juga membuktikan bahwa sistem mampu beroperasi dengan akurasi deteksi rata-rata di atas 90% dalam jarak optimal 1–2 meter, serta kecepatan deteksi di bawah 0.5 detik per *frame*. Dengan demikian, sistem ini mampu meningkatkan efektivitas pengawasan terhadap standar penggunaan APD secara signifikan di area proyek konstruksi

**Keywords :** *Computer Vision, Deteksi PPE, Keselamatan Kerja, Real-time, YOLOv8.*

## 1. PENDAHULUAN

Keselamatan dan kesehatan kerja (K3) merupakan aspek fundamental dalam dunia ketenagakerjaan, terutama di sektor konstruksi yang dikenal memiliki risiko kecelakaan kerja yang tinggi. Berdasarkan Data Prioritas Ketenagakerjaan SDI, pada periode Januari hingga Oktober 2024 tercatat sebanyak 356.464 kasus kecelakaan kerja di Indonesia. Dari jumlah tersebut, mayoritas dialami oleh peserta penerima upah sebesar 91,85 persen, disusul peserta bukan penerima upah (7,24 persen) dan peserta jasa konstruksi (0,91 persen). Adapun pada tahun sebelumnya, yaitu 2023, jumlah kasus tercatat lebih tinggi, yakni 370.747 kasus (2024, n.d.). Tingginya angka kecelakaan ini menunjukkan bahwa masih terdapat tantangan besar dalam penerapan sistem keselamatan kerja yang efektif, khususnya dalam penggunaan alat pelindung diri (APD).

Di lingkungan kerja konstruksi, pekerja dihadapkan pada berbagai risiko seperti jatuh dari ketinggian, tertimpa benda, tersengat listrik, hingga terpapar bahan berbahaya (Taufiqurrochman & Februariyanti, 2024). Salah satu penyebab utama terjadinya kecelakaan kerja adalah kelalaian dalam penggunaan APD, baik karena ketidaktahuan, keengganan, maupun pengawasan yang kurang efektif (Mailoa & Santoso, 2022). Dalam kondisi beban kerja tinggi dan suhu lingkungan yang ekstrem, pekerja cenderung mengabaikan penggunaan APD (Nirvana et al., 2023). Untuk mengatasi hal ini, perusahaan biasanya menugaskan petugas K3 atau HSE (*Health, Safety and Environment*) untuk

---

memantau kepatuhan terhadap standar keselamatan kerja. Namun, pengawasan manual memiliki keterbatasan dalam efektivitas dan cakupan, terutama dalam proyek skala besar dengan jumlah tenaga kerja yang banyak.

Seiring dengan kemajuan teknologi, penerapan kecerdasan buatan (*Artificial Intelligence/AI*), khususnya dalam bentuk *Computer Vision*, menawarkan solusi inovatif dalam peningkatan kepatuhan terhadap penggunaan APD. Teknologi *You Only Look Once (YOLO)* yang terintegrasi dengan *Convolutional Neural Network (CNN)* memungkinkan pendeteksian objek secara *real-time* dengan tingkat akurasi tinggi. Beberapa penelitian sebelumnya telah menunjukkan hasil yang menjanjikan. Natalia & Asmunin, 2023 berhasil merancang sistem pendeteksi APD menggunakan YOLOv5 dan CNN, yang mampu mendeteksi helm, rompi, dan masker dengan nilai mAP sebesar 93%. Penelitian serupa oleh Hadi Supriyanto et al., 2024 mengembangkan sistem berbasis YOLOv7 dan Jetson Nano untuk mendeteksi penggunaan helm, dengan akurasi mencapai 97,23%. Meskipun demikian, efektivitas sistem masih dipengaruhi oleh kualitas perangkat keras serta kondisi lingkungan.

PT. Daksa Handasa Asakarya sebagai perusahaan konstruksi yang berkomitmen terhadap keselamatan kerja, tengah mengerjakan proyek pembangunan Kantor BPKHTL di Bandar Lampung. Dalam pelaksanaannya, perusahaan ini mengedepankan prinsip K3 dan terus berupaya meningkatkan efisiensi pengawasan terhadap penggunaan APD. Oleh karena itu, penerapan sistem otomatis berbasis AI untuk mendeteksi pemakaian APD secara *real-time* menjadi sebuah kebutuhan penting untuk mendukung terciptanya lingkungan kerja yang aman, efisien, dan berkelanjutan.

## **2. KERANGKA TEORI**

### **2.1 *Personal Protective Equipment (PPE)***

Alat Pelindung Diri (APD) atau *Personal Protective Equipment (PPE)* adalah perlengkapan standar yang wajib digunakan oleh pekerja untuk melindungi diri dari risiko kecelakaan kerja. PPE terdiri dari berbagai jenis seperti helm keselamatan, rompi keselamatan, sepatu pelindung, kacamata pelindung, dan sarung tangan. Penggunaan PPE bertujuan untuk meminimalkan dampak cedera di lingkungan kerja, terutama di bidang konstruksi yang memiliki risiko tinggi terhadap kecelakaan kerja.

### **2.2 *Computer Vision***

Computer Vision merupakan bidang ilmu dalam kecerdasan buatan yang memungkinkan komputer untuk menafsirkan dan memahami data visual dari dunia nyata, seperti gambar atau video. *Computer Vision* menggunakan teknik pemrosesan citra digital untuk melakukan deteksi, klasifikasi, dan pelacakan objek secara otomatis. Dalam penelitian ini, teknologi *Computer Vision* digunakan untuk mengenali keberadaan dan jenis PPE yang digunakan oleh pekerja.

### **2.3 *Convolutional Neural Network (CNN)***

CNN merupakan jenis arsitektur jaringan saraf tiruan (*Artificial Neural Network*) yang sangat efektif dalam pengenalan pola pada data gambar. CNN terdiri dari beberapa lapisan seperti *convolutional layer*, *pooling layer*, dan *fully connected layer* yang berfungsi mengekstraksi fitur penting dari citra input. CNN menjadi dasar bagi berbagai model deteksi objek termasuk YOLO.

### **2.4 *You Only Look Once (YOLO)***

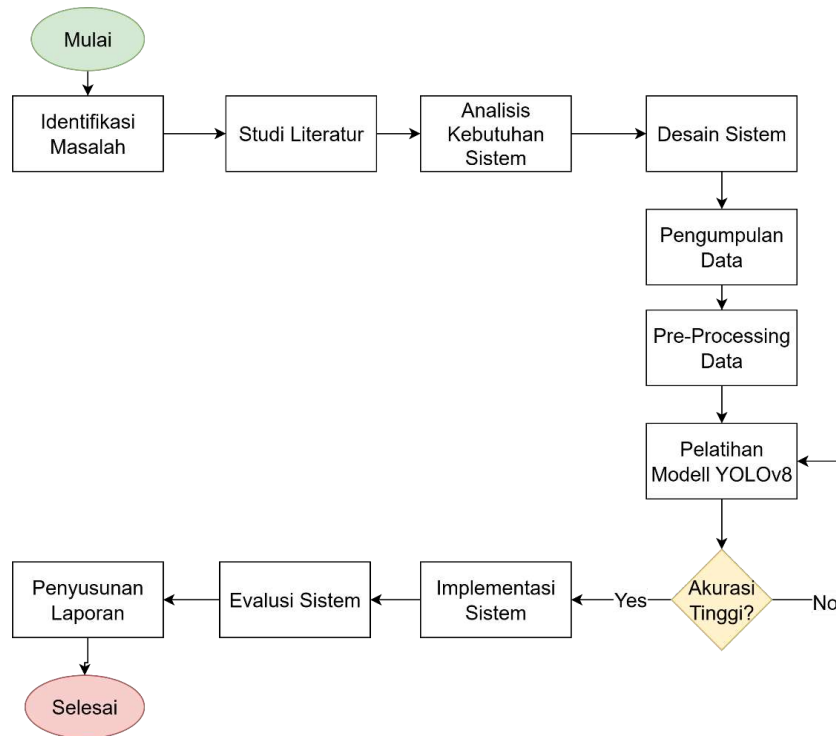
YOLO (*You Only Look Once*) adalah metode deteksi objek berbasis *deep learning* yang mampu mendeteksi dan mengklasifikasikan objek dalam satu kali pemrosesan citra. YOLO memiliki keunggulan dalam kecepatan (*real-time*) dan akurasi. YOLOv8, versi terbaru dari YOLO, memiliki peningkatan performa dibandingkan versi sebelumnya dalam hal efisiensi dan ketelitian deteksi, serta mampu melakukan deteksi multiobjek secara simultan. Pada penelitian ini, YOLOv8 digunakan untuk mendeteksi lima jenis PPE dalam satu frame.

### **2.5 *Penelitian Terkait***

Penelitian terdahulu oleh Ahsan & Ferdous, 2022 menggunakan YOLOv5 untuk mendeteksi PPE di lingkungan konstruksi dengan akurasi di atas 90%. Studi lain oleh Natalia dan Asmunin (2023) mengembangkan sistem deteksi APD berbasis YOLOv4 dengan integrasi CCTV. Penelitian ini melanjutkan pengembangan dengan YOLOv8 dan integrasi sistem real-time berbasis web, dengan jangkauan deteksi yang lebih luas dan hasil evaluasi yang lebih optimal.

### 3. METODOLOGI

#### 3.1 Metode Penelitian



Gambar 1 Alur Penelitian

Penelitian ini menggunakan metode *Research and Development (R&D)* yang bertujuan untuk merancang, mengembangkan, dan menguji sistem deteksi PPE (*Personal Protective Equipment*) berbasis teknologi *computer vision* dengan metode YOLO (*You Only Look Once*). Metode R&D dipilih karena fokus penelitian tidak hanya pada pengumpulan dan analisis data, tetapi juga pada pengembangan sebuah produk perangkat lunak berupa aplikasi web yang mampu melakukan deteksi PPE secara otomatis.

Pendekatan penelitian ini menggabungkan metode kuantitatif dan kualitatif. Data kuantitatif diperoleh dari proses pelatihan dan pengujian model YOLO yang meliputi pengukuran akurasi, *precision*, *recall*, serta waktu proses deteksi. Data kualitatif diperoleh melalui wawancara dan observasi di lapangan yang bertujuan untuk memahami kebutuhan pengguna, kondisi nyata penggunaan PPE di proyek konstruksi, dan mendapatkan feedback untuk perbaikan sistem. Sebelum memulai pengembangan sistem, dilakukan identifikasi masalah yang menunjukkan bahwa masih terdapat banyak pekerja konstruksi yang tidak mematuhi standar keselamatan kerja dengan tidak menggunakan PPE secara lengkap. Hal ini berisiko terhadap terjadinya kecelakaan kerja yang serius. Permasalahan ini menjadi landasan penting untuk merancang sistem berbasis *computer vision* yang mampu melakukan deteksi otomatis terhadap kelengkapan PPE di lapangan.

#### 3.2 Metode Pengumpulan Data

##### 3.2.1 Data Primer

###### a. Observasi Langsung

Peneliti melakukan pengamatan langsung di lokasi proyek pembangunan Kantor BPKHTL (Balai Pemantapan Kawasan Hutan dan Tata Lingkungan) yang dikerjakan oleh PT. Daksa Handasa Asakarya untuk mempelajari serta menganalisis pelaksanaan prosedur keselamatan kerja yang diterapkan oleh perusahaan tersebut. Selama observasi, peneliti juga mengamati pemakaian PPE oleh para pekerja di area proyek dengan tujuan memastikan kepatuhan terhadap standar keselamatan yang telah ditetapkan oleh otoritas terkait serta mengevaluasi sejauh mana penggunaan PPE efektif dalam mencegah kecelakaan kerja di lingkungan proyek tersebut.

###### b. Gambar dan Video Pekerja Konstruksi

Pengumpulan gambar dan video dilakukan dengan cara pengambilan dokumentasi langsung di lokasi proyek konstruksi. Dokumentasi ini meliputi berbagai kondisi penggunaan PPE oleh pekerja, baik yang menggunakan PPE lengkap maupun yang tidak lengkap. Dokumentasi dilakukan dengan berbagai sudut pengambilan dan pencahayaan yang berbeda untuk memastikan keberagaman data yang representatif

##### 3.2.2 Data Sekunder

Penelitian ini memanfaatkan dataset gambar dan video yang tersedia secara publik di internet, seperti dataset deteksi PPE yang telah digunakan dalam penelitian sebelumnya. Dataset tersebut diambil dari platform sumber

terbuka seperti *Roboflow* dan *Kaggle*, yang berfungsi untuk melengkapi data primer serta memperkaya variasi data dalam proses pelatihan model agar memperoleh hasil deteksi yang lebih akurat dan general. Berikut ini link sumber dataset yang digunakan :

<https://universe.roboflow.com/computer-vision-8kpih/synapsis-PPE/health>

<https://app.roboflow.com/siPPE/siPPE/models>

### 3.2.3 Sudi Literatur

Studi Literatur mengidentifikasi landasan teori, konsep-konsep dasar, serta hasil-hasil penelitian sebelumnya yang berkaitan dengan teknologi computer vision, algoritma YOLO, dan penerapan deteksi objek sejenis dalam berbagai konteks.

### 3.2.4 Wawancara

Dalam penelitian ini, wawancara dilakukan sebagai salah satu metode pengumpulan data untuk memperoleh informasi mendalam terkait penerapan standar dan regulasi penggunaan PPE di proyek konstruksi. Wawancara ditujukan kepada para pengawas proyek atau HSE (*Health, Safety and Environment*) serta pekerja di lapangan guna menggali berbagai kendala dan tantangan yang mereka hadapi dalam pelaksanaan keselamatan kerja sehari-hari. Selain itu, wawancara juga berfungsi untuk mengetahui harapan dan kebutuhan pengguna terhadap sistem deteksi PPE yang sedang dikembangkan, sehingga solusi yang dihasilkan dapat lebih tepat guna dan sesuai dengan kondisi nyata di lapangan.

### 3.3 Analisa Kebutuhan Sistem

Analisa kebutuhan sistem dilakukan untuk memastikan bahwa sistem dapat memenuhi tujuan dan kebutuhan pengguna. Analisa ini meliputi:

#### 3.3.1 Kebutuhan Perangkat

Agar sistem dapat berjalan optimal, diperlukan spesifikasi perangkat keras dan perangkat lunak sebagai berikut:

##### a. Hardware

Table 1. Kebutuhan Hardware

No	Komponen	Spesifikasi Minimum
1.	Komputer atau server	minimal Intel <i>Core i5</i> generasi terbaru atau setara untuk memproses data secara efisien.
2.	RAM	8 GB
3.	GPU	NVIDIA & CUDA
4.	Penyimpanan	SSD 256 GB
5.	Kamera	<i>Webcam</i> HD (720p)
6.	Perangkat Lain	<i>USB port</i> , koneksi internet (untuk instalasi/pembaruan)

##### b. Software

Table 2 Kebutuhan Software

No	Komponen	Spesifikasi Minimum
1.	OS	<i>Windows</i> 10/11
2.	Bahasa Pemrograman	<i>Python</i> dengan <i>framework Flask</i>
3.	<i>Framework</i> Deteksi	YOLOv8 ( <i>Ultralytics</i> )
4.	Database	SQLite 3
5.	<i>Library Python</i>	<i>OpenCV, NumPy, sqlite3, Flask, Ultralytics</i>
6.	IDE / Editor	<i>VS Code</i>
7.	Pelebelan Data	<i>Roboflow</i>
8.	Pelatihan Model	<i>Google Collab</i>

### 3.4 Teknik Analisa

Untuk memastikan sistem deteksi *PPE (Personal Protective Equipment)* bekerja secara akurat, efisien, dan sesuai dengan kebutuhan pengguna, digunakan beberapa teknik analisis pada berbagai tahap pengembangan sistem. Teknik analisa ini mencakup tahap pra-pemrosesan data, evaluasi model deteksi, pengujian sistem, serta analisis performa sistem. Berikut penjelasan lengkapnya:

#### 3.4.1 Pra-pemrosesan Data

Pra-pemrosesan data dilakukan untuk mempersiapkan data sebelum digunakan dalam proses pelatihan model YOLO. Tahapan ini meliputi:

##### a. Anotasi Data

Proses penandaan objek PPE dalam gambar menggunakan bounding box serta label kelas (*boots, glasses, gloves, helmet, vest*). Anotasi dilakukan menggunakan tool seperti *Roboflow*.

##### b. Augmentasi Gambar

Teknik augmentasi digunakan untuk meningkatkan variasi dataset dengan melakukan manipulasi pada citra seperti rotasi, flipping horizontal, zoom, kontras, blur, dan translasi. Augmentasi membantu model lebih adaptif terhadap kondisi pencahayaan dan posisi objek yang bervariasi.

c. Normalisasi Data

Setiap gambar diubah ke ukuran standar YOLO (misalnya 640×640 piksel), dan nilai piksel dinormalisasi ke rentang [0,1] untuk mempercepat proses pembelajaran.

3.4.2 Evaluasi Model Deteksi

Evaluasi model YOLO dilakukan dengan menggunakan metrik evaluasi yang umum dalam sistem deteksi objek, yaitu :

a. Precision

Precision mengukur seberapa tepat model dalam melakukan deteksi terhadap objek PPE, yaitu proporsi deteksi yang benar dari semua prediksi positif.

$$\text{Precision} = \frac{TP}{TP+FP} \quad (\text{Persamaan 3.1})$$

Keterangan:

TP = True Positive (deteksi PPE yang benar)

FP = False Positive (deteksi PPE yang salah)

b. Recall

Recall menunjukkan kemampuan model dalam mendeteksi seluruh objek PPE yang ada di dalam gambar

$$\text{Recall} = \frac{TP}{TP+FN} \quad (\text{Persamaan 3.2})$$

Keterangan:

FN = False Negative (PPE yang ada tetapi tidak terdeteksi)

c. F1-Score

F1-Score merupakan rata-rata harmonis dari Precision dan Recall, digunakan untuk mengevaluasi keseimbangan antara keduanya.

$$\text{F1-Score} = 2 \times \frac{\text{Precision} \times \text{Recall}}{\text{Precision} + \text{Recall}} \quad (\text{Persamaan 3.3})$$

d. Mean Average Precision (mAP)

Mean Average Precision (mAP) adalah metrik utama untuk evaluasi performa deteksi objek. mAP dihitung dari rata-rata Average Precision (AP) untuk setiap kelas objek PPE (boots, glasses, gloves, helmet, vest) dengan pertimbangan Intersection over Union (IoU) tertentu. Langkah umum menghitung mAP:

1) Hitung IoU antara bounding box hasil deteksi dengan ground truth.

$$\text{IoU} = \frac{\text{Area Overlap}}{\text{Area Union}} \quad (\text{Persamaan 3.4})$$

2) Tentukan apakah deteksi benar (TP) berdasarkan ambang IoU (biasanya 0.5 atau 0.75).

3) Hitung Precision-Recall curve untuk setiap kelas.

4) Ambil area di bawah kurva tersebut sebagai AP.

5) Rata-rata AP seluruh kelas

$$\text{mAP} = \frac{1}{N} \sum_{i=0}^n \text{AP}_i \quad (\text{Persamaan 3.5})$$

Keterangan :

N = Jumlah Kelas

AP<sub>i</sub> = Average Precision untuk kelas ke-i

Contoh:

Jika mAP = 0.85 (85%), berarti sistem secara rata-rata mampu mendeteksi objek PPE dengan tingkat akurasi sangat baik.

3.4.3 Pengujian Sistem

Setelah model berjalan di sistem web, dilakukan pengujian terhadap sistem secara keseluruhan untuk mengevaluasi integrasi dan fungsionalitas.

3.4.4 Analisa Kinerja Sistem

Pengukuran ini difokuskan pada aspek efisiensi dan kecepatan sistem dalam menjalankan proses deteksi secara real-time.

a. Waktu Proses Deteksi

Mengukur waktu rata-rata (dalam milidetik atau detik) yang dibutuhkan sistem untuk memproses satu gambar/frame dari input hingga muncul hasil deteksi.

$$\text{Waktu Deteksi} = \frac{\text{Total Waktu Proses}}{\text{Jumlah Gambar/Frame}} \quad (\text{Persamaan 3.6})$$

b. Waktu Respons Sistem

Waktu yang dibutuhkan dari saat pengguna memberikan input (upload/gambar dari kamera) hingga sistem memberikan output hasil deteksi. Idealnya < 1 detik untuk real-time.

c. Frame Per Second (FPS)

Untuk streaming video, digunakan metrik FPS untuk mengukur seberapa banyak frame dapat diproses per detik. FPS tinggi menandakan sistem mampu bekerja secara real-time:

$$FPS = \frac{Jumlah\ Frame}{Waktu\ Total} \quad (Persamaan\ 3.7)$$

- d. Stabilitas  
 Diuji dengan menjalankan sistem secara terus-menerus dalam jangka waktu tertentu dan diamati apakah terjadi *crash*, *lag*, atau *error* memori yang mempengaruhi performa.

### 3.4.5 Perbandingan Versi Model YOLO

- a. Tujuan Perbandingan
  - 1) Menilai performa deteksi antar versi YOLO
  - 2) Menentukan model paling akurat dan efisien untuk diintegrasikan ke dalam sistem berbasis web.
  - 3) Menyesuaikan model dengan kebutuhan sistem *real-time*, ukuran model, dan waktu deteksi.
- b. Parameter Yang Dibandingkan
  - 1) *Precision*, *Recall*, dan *F1-Score* untuk mengukur kualitas deteksi.
  - 2) *mAP@0.5* dan *mAP@0.5:0.95* untuk mengukur performa secara menyeluruh.
  - 3) Waktu inferensi (*ms/image*) untuk mengukur kecepatan model.
- c. Tabel Hasil Perbandingan Model

Tabel 3. Tabel Perbandingan

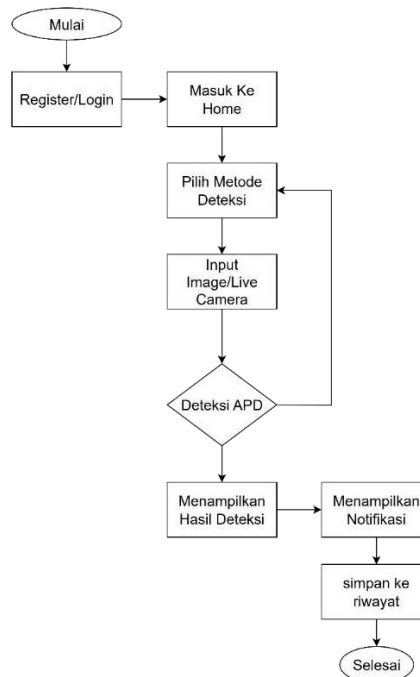
versi Model	Precision (%)	Recall (%)	F1-Score (%)	mAP@0.5 (%)	mAP@0.5:0.95
YOLOv8n	92.1	89.3	90.7	93.5	62.4
YOLOv8s	95.6	93.8	94.7	96.2	67.1
YOLOv8m	97.7	96.0	96.8	98.4	71.7

- d. Keputusan Pemilihan  
 Berdasarkan hasil evaluasi, YOLOv8m dipilih sebagai model utama untuk diintegrasikan ke dalam sistem deteksi APD berbasis web. Model ini memberikan akurasi tinggi (*mAP@0.5* sebesar 98.4%) dengan waktu inferensi yang masih terjangkau (12.4 *ms/image*), serta ukuran model yang masih tergolong efisien untuk keperluan deployment di sistem *real-time*.

### 3.5 Perancangan Penelitian

Perancangan penelitian dilakukan untuk mengembangkan sistem deteksi PPE berbasis web yang fungsional, mudah digunakan, dan mampu mendeteksi kelengkapan Alat Pelindung Diri secara otomatis melalui input gambar, video, maupun kamera *real-time*. Tahapan perancangan meliputi pengembangan *frontend* (antarmuka pengguna), *backend* (logika sistem), integrasi model deteksi YOLO, serta penyusunan alur kerja sistem secara menyeluruh. Adapun langkah-langkah perancangan adalah sebagai berikut :

#### 3.5.1 Alur Kerja Sistem (Flowchart)



Gambar 2 Flowchart Sistem

Alur kerja sistem disusun untuk menggambarkan bagaimana data mengalir dari pengguna hingga ke sistem dan kembali ke pengguna. Berikut alur kerjanya secara umum:

- Pengguna mengakses web lalu melakukan *login/register*.
- Setelah login berhasil, pengguna diarahkan ke *dashboard* deteksi.
- Pengguna memilih salah satu metode input seperti *upload image* atau *Live Camera*.
- Proses deteksi oleh model YOLO
- Menampilkan gambar/video dengan overlay hasil deteksi seperti *Bounding box* pada objek PPE.
- Menampilkan notifikasi hasil deteksi berupa tanggal, waktu dan keterangan.
- Data ini disimpan ke riwayat deteksi
- Sistem menampilkan daftar hasil deteksi sebelumnya dalam bentuk tabel yang diambil dari notifikasi

#### 4. HASIL DAN PEMBAHASAN

##### 4.1. Hasil Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan pada lokasi proyek konstruksi PT. Daksa Handasa Asakarya yang sedang mengerjakan pembangunan Kantor BPKHTL (Balai Pemantapan Kawasan Hutan dan Tata Lingkungan). Sistem deteksi PPE berbasis YOLO dikembangkan untuk memantau kelengkapan alat pelindung diri (APD) pekerja secara otomatis menggunakan teknologi *computer vision*. Model deteksi ini diterapkan dalam sistem web interaktif berbasis Python Flask, yang dapat menerima input berupa gambar, video, maupun kamera *real-time*. Hasil pengembangan sistem terbagi menjadi dua aspek utama, yaitu:

##### 4.1.1 Implementasi Model YOLOv8

###### a. Dataset dan *Pre-processing*

Pelatihan model YOLOv8 dilakukan menggunakan dataset *PPE (Personal Protective Equipment)* yang terdiri dari ribuan gambar pekerja konstruksi dengan variasi pemakaian APD, seperti pada gambar berikut: Dengan keterangan jumlah dataset yang digunakan sebagai berikut :

Tabel 3. Jumlah Dataset Gambar

No	Keterangan	Jumlah
1.	Jumlah Gambar	1558
2.	Jumlah Label Anotasi	8514
3.	Rata-rata ukuran gambar	0.4 MP
4.	Nilai Tengah ukuran gambar keseluruhan	640x640

Setelah proses pengumpulan data, langkah selanjutnya adalah melakukan *preprocessing* data berupa anotasi (pelabelan) objek PPE pada setiap gambar. Proses ini dilakukan untuk menandai keberadaan lima jenis APD (helm, rompi, sepatu pelindung, sarung tangan, dan kacamata) pada setiap citra, yang akan digunakan sebagai acuan dalam pelatihan model deteksi. Anotasi dilakukan menggunakan platform *Roboflow*, yang memungkinkan pengguna memberi label secara manual pada area objek yang relevan dalam gambar. Hasil dari proses anotasi ini akan menghasilkan file dalam format YOLO (TXT) yang berisi informasi posisi dan kelas objek dalam gambar.



Gambar 3. Hasil Anotasi Dataset

## b. Konfigurasi Pelatihan

Dataset yang digunakan dalam Computer Vision dibagi menjadi tiga bagian utama untuk memastikan proses training berjalan optimal dan evaluasi model dilakukan secara menyeluruh. Sebanyak 70% dari keseluruhan data dialokasikan sebagai data latih (*training set*) untuk membangun model, 20% digunakan sebagai data validasi (*validation set*) untuk memantau kinerja model selama pelatihan dan mencegah *overfitting*, serta sisanya sebesar 10% dijadikan data uji (*testing set*) yang berfungsi untuk mengukur performa akhir model setelah pelatihan selesai. Pembagian ini dilakukan secara proporsional guna menjaga keseimbangan distribusi data pada setiap tahap.

Tabel 4. Parameter Computer Vision

Parameter	Nilai
Arsitektur Model	YOLOv8m
Jumlah Epoch	25
Batch Size	16
Learning Rate	0.001
Image Size	640 × 640 piksel
Optimizer	SGD ( <i>Stochastic Gradient Descent</i> )
Dataset Format	YOLO format
Framework	Ultralytics YOLOv8 ( <i>PyTorch</i> )

Penjelasan Parameter:

- 1) *Epoch (25)*: Jumlah siklus penuh pelatihan di mana seluruh dataset dilalui oleh model. Jumlah ini dipilih untuk memberi waktu yang cukup bagi model untuk belajar pola dari data, namun tidak terlalu lama agar menghindari *overfitting*.
- 2) *Batch Size (16)*: Jumlah sampel yang diproses dalam satu iterasi pelatihan. Ukuran ini seimbang dalam hal penggunaan memori GPU dan kecepatan konvergensi.
- 3) *Learning Rate (0.001)*: Kecepatan pembaruan bobot selama pelatihan. Nilai ini dipilih agar model belajar secara stabil tanpa mengalami *divergence*.
- 4) *Optimizer - SGD*: Digunakan karena sifatnya yang stabil dan telah terbukti efektif dalam pelatihan deep learning, terutama untuk dataset yang tidak terlalu besar.
- 5) *Image Size (640x640)*: Ukuran input gambar yang distandarisasi untuk menjaga keseragaman dan kompatibilitas dengan arsitektur YOLOv8.

Berikut ini adalah proses pelatihan sistem deteksi menggunakan YOLOv8:

```
25 epochs completed in 0.361 hours.
Optimizer stripped from runs/detect/train2/weights/last.pt, 52.1MB
Optimizer stripped from runs/detect/train2/weights/best.pt, 52.1MB

Validating runs/detect/train2/weights/best.pt...
Ultralytics YOLOv8.0.0 Python-3.10.12 torch-2.3.1+cu121 CUDA:0 (Tesla T4, 15102MiB)
Fusing layers...
Model summary: 218 layers, 25842655 parameters, 0 gradients, 78.7 GFLOPs
self.pid = os.fork()
Class      Images  Instances  Box(P      R      mAP50  mAP50-95): 0% 0/8 [00:00:?, ?it/s]/usr/lib
Class      Images  Instances  Box(P      R      mAP50  mAP50-95): 100% 8/8 [00:11:00:00, 1.49s/it]
  all       236     1461      0.977      0.96   0.984   0.717
  boots    236     434       0.956      0.959  0.991   0.758
  glasses  236     179       0.988      0.941  0.982   0.512
  gloves   236     384       0.982      0.932  0.956   0.695
  helmet   236     225       0.987      0.974  0.994   0.758
  vest     236     239       0.973      0.992  0.995   0.861

Speed: 0.3ms pre-process, 10.4ms inference, 0.0ms loss, 4.5ms post-process per image
Saving runs/detect/train2/predictions.json...
Results saved to runs/detect/train2
```

Gambar 4. 1.Computer Vision YOLOv8

## c. Hasil Evaluasi Model

Berdasarkan hasil evaluasi terhadap dataset uji, model YOLOv8 yang telah dilatih menunjukkan performa yang cukup tinggi dalam mengenali dan mengklasifikasikan objek-objek PPE. Berikut adalah hasil perhitungan metrik evaluasi model:

Tabel 5. Metrik Evaluasi

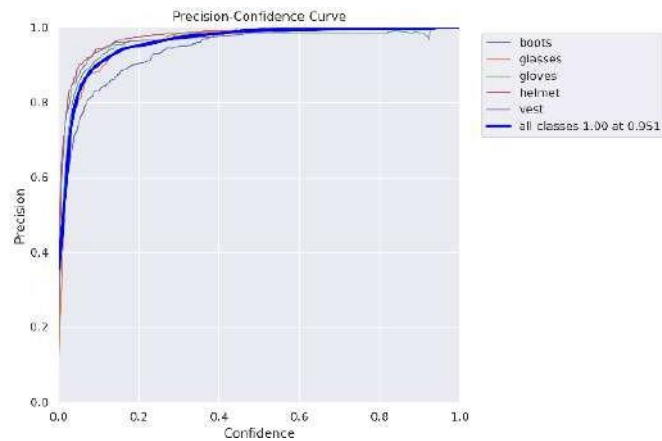
Metrik Evaluasi	Nilai (%)
<i>Precision</i>	97.7
<i>Recall</i>	96
mAP@0.5	98.4
mAP@0.5:0.95	71.7

Berdasarkan hasil evaluasi terhadap dataset uji, model YOLOv8 menunjukkan performa deteksi yang sangat baik.

Nilai *precision* mencapai 97,7%, yang berarti sebagian besar objek yang dideteksi oleh model merupakan deteksi yang benar, dengan tingkat kesalahan (*false positive*) yang sangat rendah. Hal ini menunjukkan bahwa model mampu membedakan objek PPE secara akurat dari latar belakang atau objek lain yang tidak relevan. Sementara itu, nilai *recall* sebesar 96,0% mengindikasikan bahwa model mampu mendeteksi hampir seluruh objek PPE yang ada pada dataset uji, dengan tingkat kehilangan deteksi (*false negative*) yang minim. Lebih lanjut, metrik *mean Average Precision* (mAP) yang dihitung pada threshold IoU 0.5 menunjukkan hasil sebesar 98,4%, yang mengindikasikan tingkat akurasi sangat tinggi dalam mengenali dan memetakan posisi objek dengan benar. Nilai ini merupakan salah satu indikator utama dalam sistem deteksi objek dan menunjukkan bahwa model sangat andal dalam tugas deteksi PPE. Selain itu, mAP yang dihitung pada rentang IoU 0.5 hingga 0.95 (mAP@0.5:0.95) berada pada angka 71,7%. Metrik ini lebih ketat karena memperhitungkan keberhasilan deteksi pada berbagai tingkat ketelitian posisi objek. Nilai tersebut masih tergolong tinggi dan menunjukkan bahwa model tetap memiliki performa yang stabil bahkan pada skenario yang lebih kompleks, seperti objek kecil atau tumpang tindih.

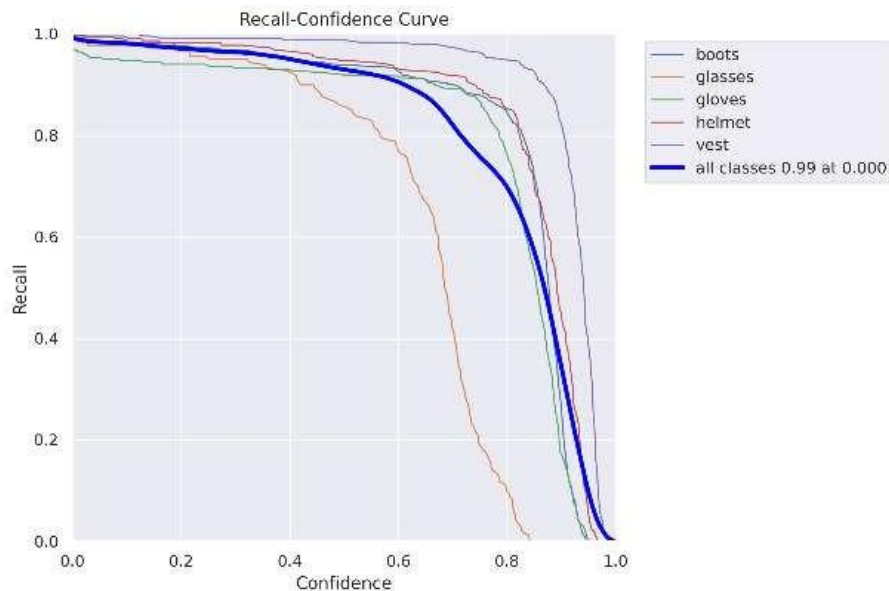
d. Analisis Matrix

Untuk memperjelas performa model secara visual, grafik berikut memperlihatkan perbandingan metrik evaluasi yang diperoleh :



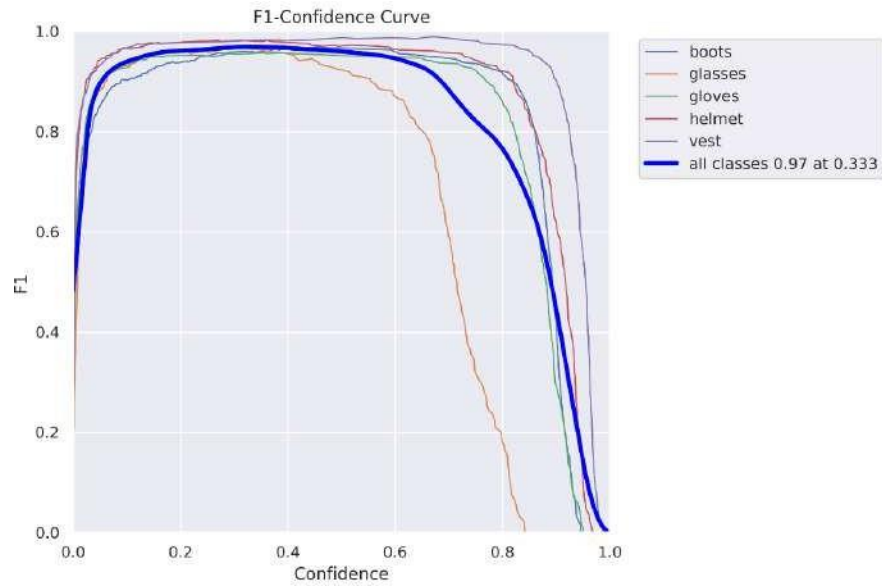
Gambar 4. Grafik Precision

Grafik *Precision* menggambarkan seberapa akurat model dalam mengidentifikasi objek yang benar dari semua prediksi yang dinyatakan sebagai objek.



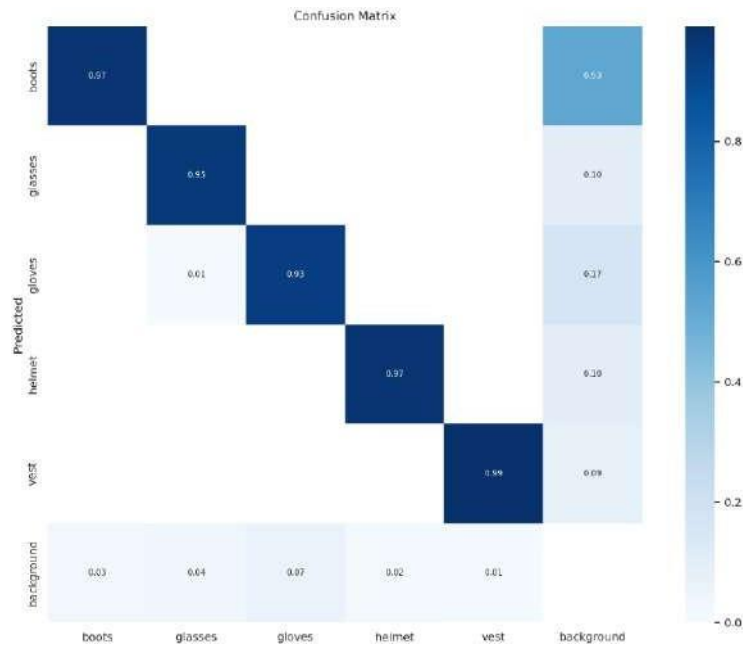
Gambar 5. Grafik Recall

Grafik *Recall* menunjukkan kemampuan model dalam menemukan semua objek yang benar dari seluruh objek yang seharusnya terdeteksi.



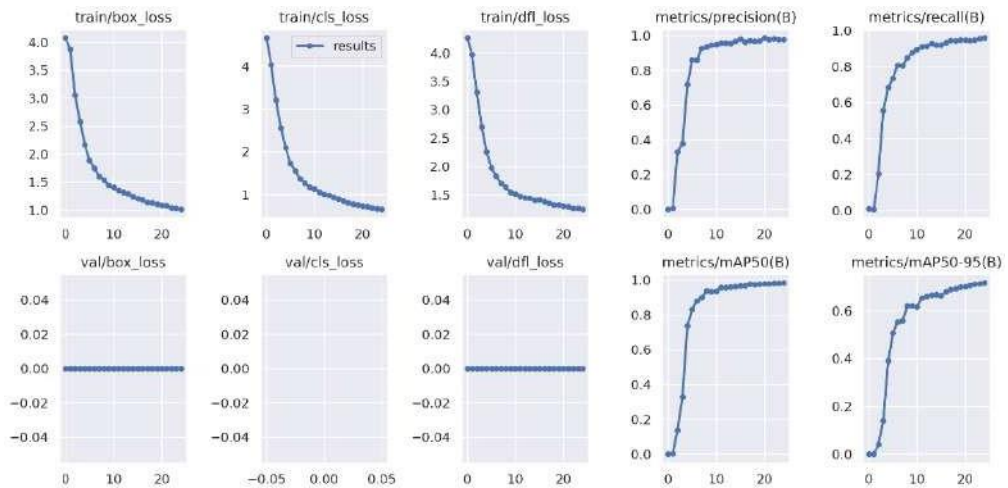
Gambar 6. Grafik F1-Score

Grafik *F1-Score* merupakan gabungan dari grafik *precision* dan *recall*, dan memberikan gambaran seberapa seimbang model dalam mendeteksi objek dengan benar dan lengkap.



Gambar 7. Confusion matrix

*Confusion matrix* adalah representasi visual berbentuk tabel yang digunakan untuk mengevaluasi performa model klasifikasi atau deteksi objek. Dalam konteks deteksi objek, *confusion matrix* menunjukkan seberapa baik model dalam membedakan dan mengklasifikasikan objek-objek ke dalam kelas yang sesuai. Tabel ini terdiri dari baris dan kolom, di mana baris merepresentasikan kelas sebenarnya (*ground truth*) dan kolom merepresentasikan kelas hasil prediksi dari model.



Gambar 8. Grafik Result

Bagian *result* atau hasil evaluasi adalah ringkasan metrik performa keseluruhan model terhadap data uji. Ringkasan ini biasanya mencakup nilai *precision*, *recall*, *F1-score*, serta metrik penting lainnya seperti *mean Average Precision* (mAP) pada berbagai nilai *IoU threshold*. Contoh yang sering digunakan adalah  $mAP@0.5$  yang mengukur rata-rata presisi pada  $IoU \geq 0.5$ , dan  $mAP@0.5:0.95$  yang menghitung rata-rata presisi dari  $IoU 0.5$  sampai  $0.95$  secara bertahap.

## 4.2. Pembahasan

### 4.2.1. Analisis Hasil Pelatihan dan Evaluasi Model

Pelatihan model YOLOv8 dilakukan menggunakan dataset PPE dengan jumlah 1.558 gambar dan total 8.514 anotasi objek. Dataset ini mencakup lima kategori utama APD: helmet, vest, gloves, boots, dan glasses. Ukuran gambar disesuaikan ke resolusi 640x640 piksel sesuai standar YOLOv8 agar proses inferensi efisien tanpa mengorbankan akurasi. Hasil pelatihan menunjukkan bahwa model memiliki kemampuan deteksi yang sangat baik. Hal ini tercermin dari metrik evaluasi sebagai berikut:

- Precision 97.7%, menunjukkan bahwa sebagian besar deteksi model benar, dengan sedikit false positive.
- Recall 96%, artinya model dapat mendeteksi hampir semua objek PPE dalam gambar.
- $mAP@0.5$  sebesar 98.4%, menunjukkan bahwa posisi dan klasifikasi bounding box sangat akurat.
- $mAP@0.5:0.95$  sebesar 71.7%, menandakan bahwa performa model tetap stabil meskipun diuji pada berbagai tingkat ketelitian  $IoU$ .

Visualisasi seperti *confusion matrix*, grafik *precision*, *recall*, dan *F1-score* memberikan gambaran seimbangnyanya performa model dalam mendeteksi dan mengklasifikasikan objek secara konsisten. Hal ini menunjukkan bahwa model dapat digunakan sebagai detektor real-time pada lingkungan konstruksi dengan tingkat keandalan tinggi.

### 4.2.2. Pengujian Berdasarkan Jarak Deteksi

#### a. Tujuan Pengujian

Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui seberapa besar pengaruh jarak antara kamera dan objek terhadap akurasi serta kecepatan deteksi sistem. Hal ini penting untuk menentukan posisi optimal penempatan kamera dalam implementasi lapangan.

#### b. Metode

Pengujian dilakukan dengan tiga variasi jarak: 100 cm, 200 cm, dan 300 cm, masing-masing diuji sebanyak tiga kali. Dalam setiap uji coba, dicatat:

- Keakuratan deteksi (%)
- Kecepatan deteksi (dalam detik/frame)
- Keterangan hasil deteksi
- Spesifikasi kamera : 200 *Mega-Pixel*

#### c. Gambar Hasil Pengujian

Berikut ini hasil pengujian sistem deteksi PPE :



Gambar 9. Hasil Pengujian

d. Hasil pengujian jarak

Table 6 Hasil pengujian Jarak

No.	Jarak Deteksi (cm)	Keakuratan (%)	Kecepatan Deteksi (s)	Uji Coba Ke-	Rata-rata (%)	Keterangan
1.	100	90	0.45	1		Deteksi sempurna
2.	100	89	0.50	2	89	Deteksi stabil
3.	100	88	0.48	3		Optimal
4.	200	85	0.60	1		Boots kadang tidak terdeteksi
5.	200	87	0.62	2	86	Pengaruh pencahayaan terlihat
6.	200	86	0.61	3		Stabil, tapi menurun
7.	300	70	0.80	1		Sarung tangan dan sepatu sulit dikenali
8.	300	72	0.78	2	71	Deteksi lambat
9.	300	71	0.79	3		Tidak disarankan untuk jarak jauh

e. Analisis Hasil

Jarak optimal untuk implementasi kamera dalam sistem ini adalah 100–150 cm, di mana sistem menunjukkan akurasi tinggi dan kecepatan deteksi yang sangat baik. Penggunaan kamera pada jarak lebih dari 200 cm tidak disarankan tanpa dukungan perangkat optik tambahan (seperti zoom kamera) karena akan mengurangi efektivitas deteksi, terutama pada APD berukuran kecil. Berikut ini adalah penjelasan dari hasil tabel di atas:

- 1) Pada jarak 100 cm, sistem mendeteksi APD dengan akurasi sangat tinggi (rata-rata 95%) dan respon cepat (0.48 detik). Ini merupakan jarak optimal untuk deteksi secara *real-time*.
- 2) Pada jarak 200 cm, akurasi mulai menurun menjadi 86% dan deteksi lebih lambat (0.61 detik). Beberapa kelas seperti *boots* mulai tidak terdeteksi dengan baik, terutama saat cahaya tidak merata.
- 3) Pada jarak 300 cm, performa menurun signifikan dengan akurasi hanya 71% dan deteksi lebih lambat (0.79 detik). Objek kecil seperti sarung tangan dan kacamata sering tidak terdeteksi. Hal ini menunjukkan keterbatasan model dalam mengenali APD dari jarak jauh.

5. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, dapat disimpulkan bahwa sistem deteksi kelengkapan Alat Pelindung Diri (PPE) berbasis algoritma YOLOv8 berhasil dirancang dan dikembangkan untuk digunakan di area konstruksi. Sistem ini mampu mendeteksi lima jenis APD utama, yaitu helm, rompi, sepatu pelindung, sarung tangan, dan kacamata secara otomatis dan real-time dengan tingkat akurasi tinggi. Model terbaik yang digunakan, yaitu YOLOv8m, menunjukkan performa unggul dengan nilai mAP@0.5 sebesar 98.4% dan mAP@0.5:0.95 sebesar 71.7%. Sistem telah diintegrasikan ke dalam platform web yang mendukung input gambar, video, dan kamera langsung serta dilengkapi fitur pencatatan riwayat deteksi secara otomatis ke dalam database. Hasil pengujian lapangan menunjukkan bahwa sistem dapat beroperasi dengan baik di lingkungan nyata dan mampu mendeteksi

kelengkapan APD dengan stabil dan cepat, terutama pada jarak optimal. Dengan kemampuan tersebut, sistem ini terbukti efektif dalam meningkatkan pengawasan terhadap standar penggunaan APD di lapangan, sehingga mendukung tercapainya tujuan penelitian, yaitu merancang sistem yang dapat memastikan kepatuhan terhadap peraturan keselamatan kerja dan meningkatkan efektivitas pengawasan melalui penerapan teknologi computer vision secara real-time.

#### UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada:

- 1) PT. Daksa Handasa Asakarya atas kesempatan, akses data, dan dukungan lapangan selama proses penelitian berlangsung.
- 2) Ibu Dian Resha, S.Kom., M.T.I., selaku dosen pembimbing, atas bimbingan, motivasi, serta arahan yang sangat berarti dalam menyelesaikan penelitian ini.
- 3) Fakultas Ilmu Komputer, Universitas Bandar Lampung, yang telah menyediakan fasilitas dan dukungan akademik dalam pelaksanaan tugas akhir ini.
- 4) Orang tua dan keluarga tercinta, atas doa, dukungan moral, dan semangat yang tidak pernah berhenti diberikan selama proses penyusunan karya ilmiah ini.

Semoga kontribusi dari berbagai pihak yang telah membantu dalam penyusunan artikel ini menjadi amal jariyah dan memberikan manfaat bagi pengembangan teknologi keselamatan kerja di masa yang akan datang.

#### DAFTAR PUSTAKA

- 2023, S. (n.d.). *Data Prioritas Ketenagakerjaan 2023*.
- 2024, S. (n.d.). *Data Prioritas Ketenagakerjaan 2024*.
- Annisaa. (2024). Mengenal Lebih Dekat Dengan Vision Intelligence. In *Widya.ai*. <https://widya.ai/mengenal-lebih-dekat-dengan-vision-intelligence/>
- Arianto, B. I., & Zuliarso, E. (2023). Implementasi Metode YOLO pada Deteksi Pakaian Keselamatan yang Lengkap di Proyek Kontruksi. *Journal of Multidisciplinary Research and Development*, 6(1), 56–63. <https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>
- Azmi, K., Defit, S., & Sumijan, S. (2023). Implementasi Convolutional Neural Network (CNN) Untuk Klasifikasi Batik Tanah Liat Sumatera Barat. *Jurnal Unitek*, 16(1), 28–40. <https://doi.org/10.52072/unitek.v16i1.504>
- Bahtiar, E., Mahyuddin, Nur, K., Tummpu, M., Rosyidah, M., Setiawan, A. M., Erdawaty, Yanti, Ihsan, M., Sudirman, Makkul, R., & Rachim, F. (2021). *Manajemen K3 Konstruksi*.
- Çiftçi, M., Türkdamar, M. U., & Öztürk, C. (2024). Leveraging YOLO Models for Safety Equipment Detection on Construction Sites. *Journal of Computing Theories and Applications*, 1(4), 492–506. <https://doi.org/10.62411/jcta.10453>
- Eriana, E. S., & Zein, D. A. (2023). Artificial Intelligence. *Angewandte Chemie International Edition*, 6(11), 951–952.
- Febrywinata, E. (2024). *Pengenalan Dan Klasifikasi Jenis Buah Menggunakan Metode CNN Secara Sederhana Dengan Menggunakan Google Colab*. *Jurnal Riset Sistem Informasi dan Teknik Informatika*.
- Ferdous, M., & Ahsan, S. M. M. (2022). PPE detector: A YOLO-based architecture to detect personal PPE (Personal Protective Equipment) for construction sites. *PeerJ Computer Science*, 8. <https://doi.org/10.7717/peerj-cs.999>
- Hadi Supriyanto, Sarosa Castrena Abadi, & Aliffa Shalsabilah. (2024). Deteksi Helm Keselamatan Menggunakan Jetson Nano dan YOLOv7. *Journal of Applied Computer Science and Technology*, 5(1), 1–8. <https://doi.org/10.52158/jacost.v5i1.637>
- Hafidzulrahman, D. (2024). *Perbandingan Algoritma You Only Look Once (YOLO) versi 5 dan versi 8 sebagai Object Detection pada Pendeteksian Hilal*.
- Hashemi-Pour, C., & Churchville, F. (2024). *user interface (UI)*. <https://www.techtarget.com/searchapparchitecture/definition/user-interface-UI>
- Haviluddin. (2022). Memahami Penggunaan UML ( Unified Modelling Language ). *Memahami Penggunaan UML (Unified Modelling Language)*, 6(1), 1–15. <https://informatikamulawarman.files.wordpress.com/2011/10/01-jurnal-informatika-mulawarman-feb-2011.pdf>
- Hayati, N. J., Singasatia, D., & Muttaqin, M. R. (2023). Object Tracking Menggunakan Algoritma You Only Look Once (YOLO)v8 untuk Menghitung Kendaraan. *Komputa : Jurnal Ilmiah Komputer Dan Informatika*, 12(2), 91–99. <https://doi.org/10.34010/komputa.v12i2.10654>
- Intern, D. (2023). *Python: Pengertian, Contoh Penggunaan, dan Manfaat Mempelajarinya*. Dicoding. <https://www.dicoding.com/blog/python-pengertian-contoh-penggunaan-dan-manfaat-mempelajarinya/>
- Maesaroh, S., Afiyati, Hakim, L., Sari, Y. S., Yusuf, M., Perkasa, E. B., Utami, W. S., Saptadi, N. T. S., Mutmainah, S., Khairunnas, Harahap, E. P., Alamin, Z., Karima, I. S., Saputra, A., & Mubarak, R. (2024). *Bahasa Pemrograman Python*. Sada Kurnia Pustaka.
- Mahardhika, K. N. (2023). *Mengenal Istilah HSE dan Hubungannya dengan K3*. Megah Anugerah Energi. <https://solarindustri.com/blog/pengertian-hse/>
- Mailoa, R. M., & Santoso, L. W. (2022). Deteksi Rompi dan Helm Keselamatan Menggunakan Metode YOLO dan CNN. *Jurnal Infra*, 10(2), 56–62.

- 
- Malabay. (2023). Pemanfaatan Flowchart Untuk Kebutuhan Deskripsi Proses Bisnis. *Jurnal Ilmu Komputer*, 12(1), 21–26. <https://digilib.esaunggul.ac.id/pemanfaatan-flowchart-untuk-kebutuhan-deskripsi-proses-bisnis-9347.html>
- Marpaung, F., Aulia, F., & Nabila, R. C. (2022). *Computer Vision Dan Pengolahan Citra Digital*. [www.pustakaaksara.co.id](http://www.pustakaaksara.co.id)
- Myskill, B. (2025). *Blog MySkill Bootstrap 5 : Pengertian , Fitur , dan Keunggulannya Apa Itu Bootstrap 5 ? Fitur Utama Bootstrap 5*. 1–22.
- Naf'an, E., Islami, F., & Gushelmi. (2022). *Dasar dasar deep learning dan contoh aplikasinya*.
- Natalia, I. G., & Asmunin. (2023). Deteksi Kelengkapan APD Keselamatan Pekerja Konstruksi Dengan Menggunakan Metode Convolutional Neural Network Dan Model Jaringan YOLOv5. *Jurnal Manajemen Informatika, MI*, 1–9.
- Nirvana, M. N., Rachmadi, R. F., & Purnama, I. K. E. (2023). Sistem Pendeteksi Alat Pelindung Diri (APD) Pada Pekerja Konstruksi Berbasis Convolutional Neural Network. *Jurnal Teknik ITS*, 12(3), 1–7. <https://doi.org/10.12962/j23373539.v12i3.121850>
- Oktaviana, I., & Pujiyanto, R. (2023). *Manajemen keselamatan & kesehatan kerja (K3)*. PUSTAKABARUPRESS.
- Soufitri, F. (2023). Konsep Sistem Informasi. *Jurnal Administrasi Pendidikan*, 3, 1–14. <https://ejournal.upi.edu/index.php/JAPSPs/article/viewFile/6095/4116>
- Taufiqurrochman, M. A., & Februariyanti, H. (2024). Rancang Bangun Aplikasi Deteksi Alat Pelindung Diri (APD) untuk Pekerja Proyek dengan Menggunakan Algoritma Yolov5. *Jurnal JTIK (Jurnal Teknologi Informasi Dan Komunikasi)*, 8(2), 471–480. <https://doi.org/10.35870/jtik.v8i2.1960>
- Waruwu, M. (2024). Metode Penelitian dan Pengembangan (R&D): Konsep, Jenis, Tahapan dan Kelebihan. *Jurnal Ilmiah Profesi Pendidikan*, 9(2), 1220–1230. <https://doi.org/10.29303/jipp.v9i2.2141>
- Winarko. (2022). *Dasar-Dasar Teknik Konstruksi dan Perumahan*.