



# JASEE

## Journal of Application and Science on Electrical Engineering

<https://jurnal.widyagama.ac.id/index.php/jasee/index>



### Sistem Deteksi Alat Pelindung Diri Berbasis YOLOv8n pada Jetson Nano untuk Industri Migas

Amien Thohari Yudhistira<sup>1</sup>, Sabar Setiawidayat<sup>2</sup>, Istiadi<sup>2</sup>, Diky Siswanto<sup>2</sup>

<sup>1</sup>PT Husky-CNOOC Madura Limited

<sup>2</sup>Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Widyagama Malang, Indonesia

*Corresponding author, email: amien.yudhistira.tho@gmail.com*

#### Abstract

Occupational safety in the oil and gas industry requires strict compliance with Personal Protective Equipment (PPE); however, manual inspection is prone to human error and lacks effectiveness. This research designs and implements a PPE Smart Station based on the YOLOv8n algorithm on an NVIDIA Jetson Nano A02 embedded system to automatically and in real-time detect the completeness of three main PPE types—helmet, coverall, and gloves—within the industrial environment of PT Husky-CNOOC Madura Limited. The system employs a state machine with PASS/DENIED output, a real-time 2D visualization of missing PPE on the worker's anatomical regions, and Indonesian-language text alerts with automatic audio warnings. Results are reported at two levels: (i) model evaluation on a limited test batch yielded 99.0% precision and 100% recall under near-ideal capture conditions; and (ii) field system evaluation on 30 samples at a single installation point, assessed with a confusion matrix at the PASS/DENIED decision level, yielded 93.3% accuracy, 96.0% precision, 96.0% recall, 96.0% F1-measure, and a 6.7% error rate. The results indicate the system's initial feasibility as an AI-based occupational-safety monitoring solution under the evaluated conditions, while larger-scale, multi-site validation remains necessary.

**Keywords:** PPE detection; YOLOv8n; NVIDIA Jetson Nano; embedded system; computer vision; oil and gas safety



p-ISSN : 2721-3625  
e-ISSN : 2721-320X

#### 1. PENDAHULUAN

Aktivitas operasional di industri minyak dan gas tergolong berisiko tinggi, sehingga keselamatan kerja menjadi perhatian utama pada setiap tahap kegiatannya [1]. Kerangka hukum di Indonesia menempatkan perlindungan pekerja sebagai kewajiban pemberi kerja: Undang-Undang Nomor 1 Tahun 1970 mengharuskan penyediaan Alat Pelindung Diri (APD) beserta jaminan penggunaannya secara benar [2], sedangkan Peraturan Pemerintah Nomor 11 Tahun 1979 secara khusus mewajibkan pekerja di lingkungan migas mengenakan APD yang sesuai, mencakup helm, *coverall*, dan sarung tangan [3].

Meskipun regulasi telah tegas, pengawasan kepatuhan APD di banyak fasilitas masih bergantung pada pemeriksaan manual oleh petugas. Pendekatan ini menyisakan celah pada faktor kelelahan dan

<https://doi.org/10.31328/jasee.v7i1.04>

Received: 11/03/2026

Revised: 28/03/2026

Accepted: 30/03/2026, published by ©UWG Press 2026



# JASEE

## Journal of Application and Science on Electrical Engineering

<https://jurnal.widyagama.ac.id/index.php/jasee/index>



kelalaian manusia, sehingga pengawasan menjadi kurang konsisten dan tidak selalu efektif [1]. Studi sebelumnya juga menunjukkan bahwa pelatihan K3, penggunaan APD, pemasangan rambu keselamatan, dan penerapan prosedur operasi baku berkorelasi nyata dengan menurunnya risiko kecelakaan kerja [1], sehingga pemantauan APD yang andal menjadi kebutuhan penting.

Kemajuan *Artificial Intelligence* (AI) dan *Computer Vision* membuka peluang untuk mengubah inspeksi APD menjadi proses otomatis berbasis kamera. Gallo dkk. memperlihatkan bahwa sistem deteksi APD berbasis *deep learning* pada perangkat *edge* dapat menjadi solusi efektif untuk pemantauan keselamatan industri tanpa bergantung pada koneksi awan [4]. Bertolak dari temuan tersebut, penelitian ini menghadirkan sistem PPE Smart Station yang menerapkan algoritma YOLO (You Only Look Once) di atas *platform* NVIDIA Jetson Nano untuk memeriksa kelengkapan APD secara otomatis di lingkungan PT Husky-CNOOC Madura Limited.

Permasalahan utama dan kebaruan (*novelty*). Penelitian ini menjawab kebutuhan inspeksi kelengkapan APD yang otomatis, *real-time*, dan komunikatif pada perangkat *embedded* berdaya rendah di lokasi kerja. Sejumlah penelitian telah menerapkan YOLOv8/YOLOv8n untuk deteksi APD [5]–[8]. Kebaruan penelitian ini tidak terletak pada pengembangan arsitektur YOLO, melainkan pada integrasi PPE Smart Station dalam satu unit *embedded* yang menggabungkan YOLOv8n teroptimasi TensorRT pada Jetson Nano A02, keputusan PASS/DENIED berbasis *state machine*, validasi APD menurut zona anatomis, visualisasi 2D APD yang belum lengkap, peringatan *audio-visual* berbahasa Indonesia, serta pengujian langsung di fasilitas operasional migas.

Tujuan dan ruang lingkup. Penelitian ini bertujuan merancang, mengimplementasikan, dan menguji PPE Smart Station berbasis YOLOv8n pada Jetson Nano untuk mendeteksi helm, *coverall*, dan sarung tangan serta mengevaluasi *precision*, *recall*, *F1-measure*, *accuracy*, dan *error rate*. Pengujian dibatasi pada satu personel dalam satu waktu dan kondisi pencahayaan yang memadai. Uji variasi jarak dilakukan pada 50–400 cm dengan tinggi detektor 155 cm, sedangkan uji lapangan dilakukan pada jarak 150 cm dengan tinggi instalasi 170 cm. Keluaran sistem dibatasi pada PASS/DENIED; fokus penelitian adalah implementasi dan evaluasi sistem, bukan pengembangan arsitektur YOLO.

## 2. STUDI PUSTAKA

### 2.1 Penelitian Terkait

YOLO diperkenalkan sebagai *single-stage detector* untuk deteksi objek *real-time* [9]. Dalam aplikasi keselamatan kerja, Nath dkk. [7] dan Wang dkk. [8] mengembangkan deteksi APD pada situs nyata, sedangkan Hayat dan Morgado-Dias [10] serta Ferdous dan Ahsan [11] mengembangkan detektor helm/APD berbasis *deep learning*. Pemanfaatan *embedded system* seperti Jetson Nano mendukung pemrosesan di sisi perangkat dengan bentuk yang ringkas [12]. Posisi penelitian ini terhadap kajian tersebut diringkas pada Tabel 1.



# JASEE

## Journal of Application and Science on Electrical Engineering

<https://jurnal.widyagama.ac.id/index.php/jasee/index>



**Tabel 1. Ringkasan penelitian terkait deteksi APD**

| Peneliti                         | Studi Kasus                     | Metode                      | Objek                                | Antarmuka/Deployment                   |
|----------------------------------|---------------------------------|-----------------------------|--------------------------------------|----------------------------------------|
| Redmon dkk. (2016) [9]           | Deteksi objek <i>real-time</i>  | YOLO                        | Objek umum                           | Desktop/GPU                            |
| Nath dkk. (2020) [7]             | Deteksi APD situs konstruksi    | <i>Deep learning</i> , YOLO | Helm, rompi, person                  | Desktop/server                         |
| Wang dkk. (2021) [8]             | Deteksi APD situs nyata (CHV)   | <i>Deep learning</i> , YOLO | Helm, rompi, person                  | Desktop/server                         |
| Hayat & Morgado-Dias (2022) [10] | Deteksi helm keselamatan        | <i>Deep learning</i>        | Helm                                 | Desktop                                |
| Ferdous & Ahsan (2022) [11]      | <i>PPE detector</i> konstruksi  | YOLO                        | APD konstruksi                       | Desktop                                |
| Barlybayev dkk. (2024) [5]       | Studi komparatif YOLOv8         | YOLOv8                      | APD ( <i>benchmark</i> )             | Komputasi berdaya tinggi               |
| Husain dkk. (2024) [6]           | Pemantauan APD <i>real-time</i> | YOLOv8                      | APD                                  | Desktop                                |
| <b>Penelitian ini</b>            | <b>PPE Smart Station</b>        | <b>YOLOv8n + TensorRT</b>   | <b>Helm, coverall, sarung tangan</b> | <b>Embedded (Jetson Nano), on-site</b> |

Berdasarkan Tabel 1, penelitian terdahulu telah membuktikan efektivitas YOLO untuk deteksi APD, namun sebagian besar dijalankan pada perangkat berdaya tinggi atau desktop, terbatas pada satu–dua jenis APD, dan belum mengintegrasikan mekanisme peringatan *audio-visual* maupun pengujian di lokasi industri. Penelitian ini menempatkan diri untuk mengisi celah tersebut melalui sistem *embedded* terintegrasi yang diuji langsung di lapangan.

## 2.2 Algoritma YOLOv8n dan Alasan Pemilihannya

YOLOv8n (You Only Look Once versi 8 nano) merupakan model *object detection* dari Ultralytics yang dirancang untuk deteksi cepat dengan kebutuhan komputasi relatif rendah [13]. YOLO termasuk *single-stage detector* sehingga klasifikasi objek dan prediksi *bounding box* dilakukan dalam satu tahap inferensi [9]. YOLOv8 menggunakan pendekatan *anchor-free* dengan *decoupled head* dan ekstraksi fitur multiskala yang sesuai untuk implementasi deteksi objek modern [14].

Varian YOLOv8n dipilih karena ringan (sekitar 3,2 juta parameter), mendukung ekspor TensorRT, dan kompatibel dengan keterbatasan sumber daya Jetson Nano. Pemilihan ini diarahkan pada keseimbangan ukuran model, kemudahan *deployment*, dan kebutuhan pemrosesan di perangkat tepi [13], [12]; penelitian ini tidak membandingkan kinerja antarversi YOLO.

Untuk mengukur kesesuaian lokasi objek, digunakan *Intersection over Union* (IoU), yaitu perbandingan area irisan dan area gabungan antara *bounding box* prediksi dan kotak acuan [14], sebagaimana Persamaan (1).

$$IoU = \frac{A_o}{A_u} \quad (1)$$

Pemrosesan satu tahap membuat keluarga YOLO sesuai untuk aplikasi deteksi yang memerlukan respons cepat pada sistem *embedded* [13].



# JASEE

## Journal of Application and Science on Electrical Engineering

<https://jurnal.widyagama.ac.id/index.php/jasee/index>



### 2.3 Keselamatan Kerja dan Penggunaan APD

Keselamatan dan Kesehatan Kerja (K3) merupakan program yang melindungi pekerja dari kecelakaan dan penyakit akibat kerja. Penyelenggaraannya di Indonesia bertumpu pada beberapa regulasi yang saling melengkapi. Undang-Undang Nomor 1 Tahun 1970 menjadi payung hukum utama yang mengatur kewajiban pemberi kerja menciptakan lingkungan kerja aman dan menyediakan APD [2]. Peraturan Pemerintah Nomor 11 Tahun 1979 mengatur secara khusus keselamatan pada pengolahan migas, termasuk keharusan penggunaan helm, *coverall*, dan sarung tangan [3]. Peraturan Pemerintah Nomor 50 Tahun 2012 mewajibkan penerapan Sistem Manajemen K3 bagi perusahaan berisiko tinggi [15], sedangkan Peraturan Menteri Tenaga Kerja Nomor 8 Tahun 2010 merinci jenis, penyimpanan, dan syarat teknis APD [16]. Dengan demikian, pemantauan kepatuhan APD secara otomatis berbasis AI menjadi langkah strategis untuk menopang implementasi regulasi K3 yang berlaku.

### 3. METODE

Penelitian ini menggunakan pendekatan eksperimental kuantitatif berbasis *Artificial Intelligence* dan *Computer Vision*, yaitu dengan merancang, membangun, dan menguji langsung sebuah sistem untuk menilai kinerjanya dalam menyelesaikan permasalahan deteksi APD. Metode deteksi objek yang dipakai adalah YOLOv8n yang dijalankan pada NVIDIA Jetson Nano A02 sebagai unit pemrosesan utama, didukung kamera IMX477 HQ sebagai akuisisi citra, layar sentuh LCD 7 inci sebagai antarmuka, serta modul audio WaveShare sebagai media peringatan suara. Keluaran sistem berupa *bounding box*, nilai kepercayaan, visualisasi 2D APD yang hilang, dan status PASS/DENIED. Rangkaian tahapannya meliputi pengumpulan dan anotasi *dataset*, augmentasi data, pelatihan model melalui Roboflow, optimasi model dengan TensorRT, penerapan pada Jetson Nano, dan pengujian langsung. Kinerja sistem dinilai dengan *precision*, *recall*, *F1-measure*, *accuracy*, dan *error rate*.

#### 3.1 Perancangan Perangkat Keras dan *Casing*

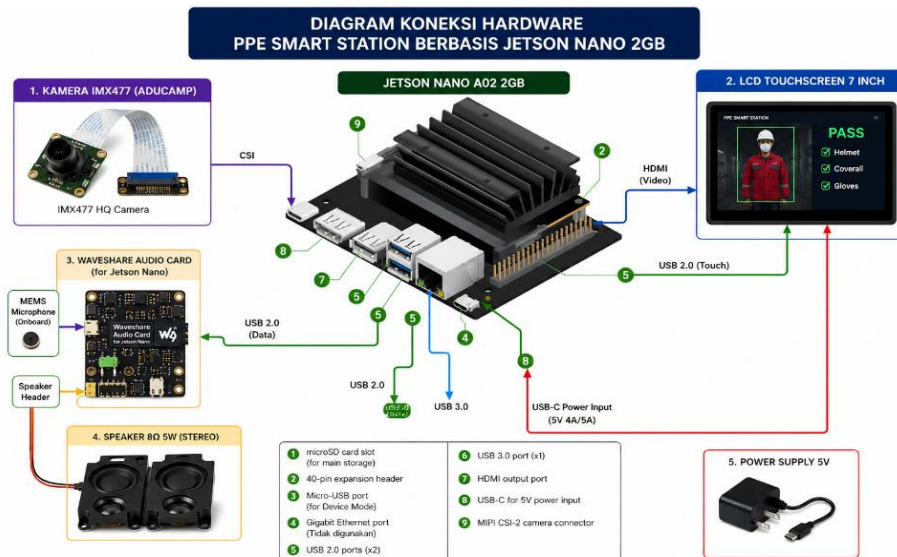
Seluruh komponen elektronik diintegrasikan ke dalam satu unit *casing* yang dirancang khusus. Skema keterhubungan antarperangkat ditunjukkan pada Gambar 1. Jetson Nano A02 ditempatkan pada kompartemen bawah untuk memaksimalkan sirkulasi udara pasif mengingat panas yang dihasilkan saat inferensi model. Kamera IMX477 HQ [17] dipasang pada panel atas dengan sudut pandang yang dioptimalkan untuk menangkap pekerja pada rentang jarak efektif  $\pm 50\text{--}150$  cm, sedangkan layar sentuh LCD 7 inci dipasang rata pada panel depan melalui antarmuka HDMI dan USB.



# JASEE

## Journal of Application and Science on Electrical Engineering

<https://jurnal.widyagama.ac.id/index.php/jasee/index>



**Gambar 1. Diagram koneksi perangkat keras sistem**

Secara fisik, sistem dirancang untuk pemasangan dinding dengan ketinggian yang disesuaikan terhadap skenario uji. Uji variasi jarak menggunakan tinggi detektor 155 cm, sedangkan instalasi lapangan menggunakan 170 cm agar tubuh bagian atas pekerja tertangkap dengan baik. *Casing* dibuat dari akrilik dengan dimensi utama 30 cm × 20 cm × 3 cm dan dilengkapi ventilasi pasif. Tampak fisik *casing* ditunjukkan pada Gambar 2.



**Gambar 2. Tampak fisik casing PPE Smart Station (samping dan depan)**

### 3.2 Mekanisme Kerja Sistem (*State Machine*)

Perangkat lunak sistem berjalan mengikuti mesin status (*state machine*) berurutan yang terdiri atas lima kondisi, yaitu STANDBY, ALIGN, ANALYZE, PASS, dan DENIED. Setiap kondisi memiliki pemicu, durasi, dan fungsi tersendiri sebagaimana dirangkum pada Tabel 2. Pembagian ini memastikan proses deteksi berlangsung tertata: sistem menunggu personel, memvalidasi posisi, menganalisis kelengkapan APD, lalu memberikan keputusan akhir. Satu siklus deteksi penuh berlangsung sekitar 2,8 detik (ALIGN 0,8 detik + ANALYZE 2,0 detik).



# JASEE

## Journal of Application and Science on Electrical Engineering

<https://jurnal.widyagama.ac.id/index.php/jasee/index>



**Tabel 2. Alur kerja *state machine* sistem PPE Smart Station**

| No. | Kondisi | Pemicu                                     | Durasi        | Fungsi                                                                               |
|-----|---------|--------------------------------------------|---------------|--------------------------------------------------------------------------------------|
| 1   | STANDBY | Kamera aktif, belum ada personel           | Terus-menerus | Menampilkan panduan posisi dan menunggu personel masuk zona deteksi.                 |
| 2   | ALIGN   | Personel terdeteksi di zona utama          | 0,8 detik     | Memvalidasi posisi agar kepala, badan, dan tangan tampak jelas.                      |
| 3   | ANALYZE | ALIGN selesai                              | 2,0 detik     | Model YOLOv8n menganalisis kelengkapan APD; deteksi diulang tiap dua bingkai.        |
| 4   | PASS    | Helm + coverall + sarung tangan terdeteksi | 3,0 detik     | Menampilkan status PASS hijau dan membunyikan audio satu kali.                       |
| 5   | DENIED  | Satu atau lebih APD tak terdeteksi         | 20 detik      | Menampilkan status DENIED merah, overlay 2D APD hilang, audio berulang tiap 7 detik. |

### 3.3 Dataset dan Pelatihan Model

*Dataset* citra APD dikumpulkan dan dikelola melalui *platform* Roboflow yang menyediakan anotasi *bounding box*, augmentasi otomatis, dan manajemen versi [13], [18]. Sekitar 3.400 citra pekerja dengan variasi posisi, jarak (50–150 cm), sudut kamera, dan pencahayaan (terang, normal, redup) dianotasi. Model dilatih untuk mengenali objek pekerja (*person*) beserta enam kelas kondisi APD, yaitu *helmet*, *coverall*, *gloves*, serta pasangan negatifnya *no-helmet*, *no-coverall*, dan *no-gloves*. *Dataset* dibagi mengikuti rasio 60:20:20 seperti tercantum pada Tabel 3.

**Tabel 3. Pembagian *dataset* pelatihan**

| Partisi        | Persentase | Jumlah Citra (±) | Fungsi                                     |
|----------------|------------|------------------|--------------------------------------------|
| Training set   | 60%        | 2.040            | Melatih model mengenali pola objek APD     |
| Validation set | 20%        | 680              | Mengevaluasi model dan menekan overfitting |
| Testing set    | 20%        | 680              | Menguji generalisasi pada data baru        |

Teknik augmentasi yang diterapkan mencakup *horizontal flip*, variasi kecerahan dan kontras, *random crop*, rotasi ( $\pm 15^\circ$ ), penambahan *Gaussian noise*, dan *mosaic augmentation*, sehingga model lebih tahan terhadap variasi kondisi lapangan dan terhindar dari *overfitting*. Model dilatih dengan konfigurasi 100 *epoch*, *batch size* 8, ukuran citra 640×640 piksel, dan pengoptimal AdamW, lalu dikonversi ke TensorRT Engine dengan presisi FP16 agar optimal pada Jetson Nano.

Model YOLOv8n hasil pelatihan memiliki 73 lapisan, 3.006.428 parameter, dan kompleksitas 8,1 GFLOPs. Hasil evaluasi model yang tersedia dilaporkan melalui *precision* dan *recall* pada Tabel 4 (Subbab 4.2). Kinerja waktu operasional pada perangkat dibahas melalui siklus *state machine* sekitar 2,8 detik (Subbab 3.2); FPS inferensi *on-device* tidak dilaporkan sebagai metrik terpisah.

### 3.4 Mekanisme Keputusan dan Kontrol Deteksi

Keputusan PASS/DENIED menggunakan dua tahap penerimaan. Personel dinyatakan valid bila titik pusat *bounding box* berada pada zona utama (62% lebar × 78% tinggi bingkai) dan tinggi *bounding box* memenuhi  $\text{person\_min\_height\_frac} = 0,45$ . Model dijalankan pada  $\text{imgsz} = 640$  dengan  $\text{person\_conf} = 0,35$  dan  $\text{ppe\_conf} = 0,45$ , sedangkan IoU NMS menggunakan nilai bawaan Ultralytics. Deteksi APD kemudian harus berada pada zona anatomis yang sesuai dan muncul pada sedikitnya 50% dari 8



# JASEE

## Journal of Application and Science on Electrical Engineering

<https://jurnal.widyagama.ac.id/index.php/jasee/index>



bingkai penghalusan; untuk sarung tangan, sisi kiri dan kanan harus terdeteksi. PASS diberikan hanya jika helm, *coverall*, dan sarung tangan seluruhnya tervalidasi; kondisi lainnya menghasilkan DENIED.

### 3.5 Parameter Evaluasi

Kinerja sistem dievaluasi pada tingkat keputusan PASS/DENIED per personel menggunakan lima parameter yang dihitung dari *True Positive* (TP), *True Negative* (TN), *False Positive* (FP), dan *False Negative* (FN). Dalam konteks ini, kelas positif didefinisikan sebagai kondisi “APD tidak lengkap” yang seharusnya berstatus DENIED. *Precision* menilai ketepatan deteksi kondisi tidak lengkap, *recall* menilai kelengkapan penemuannya, *F1-measure* menyeimbangkan keduanya, *accuracy* mengukur proporsi keputusan benar, dan *error rate* mengukur proporsi kesalahan, sebagaimana Persamaan (2)–(6). Parameter ini berbeda dari metrik deteksi objek pada tingkat model (Subbab 4.2).

$$Precision = \frac{TP}{TP + FP} \quad (2)$$

$$Recall = \frac{TP}{TP + FN} \quad (3)$$

$$F1 - Measure = \frac{2 \times (Precision \times Recall)}{Precision + Recall} \quad (4)$$

$$Accuracy = \frac{TP + TN}{N} \times 100\% \quad (5)$$

$$Error Rate = \frac{FP + FN}{Total Sampel} \times 100\% \quad (6)$$

dengan  $N$  adalah jumlah total sampel pengujian.

## 4. HASIL DAN PEMBAHASAN

### 4.1 Implementasi dan Cara Kerja Sistem

PPE Smart Station bekerja dalam tiga tahap. Pertama, akuisisi citra: kamera IMX477 HQ menangkap bingkai video secara berkesinambungan dan mengirimkannya ke Jetson Nano. Kedua, inferensi: model YOLOv8n yang telah dioptimasi TensorRT mendeteksi keberadaan pekerja beserta kelengkapan APD-nya pada tiap bingkai. Ketiga, keluaran: hasil ditampilkan langsung pada layar LCD berupa *bounding box*, label kelas, nilai kepercayaan, visualisasi 2D APD yang hilang, dan keterangan teks berbahasa Indonesia, sekaligus disimpan sebagai *log* ber-*timestamp*. Keseluruhan alur logika sistem digambarkan pada Gambar 3.

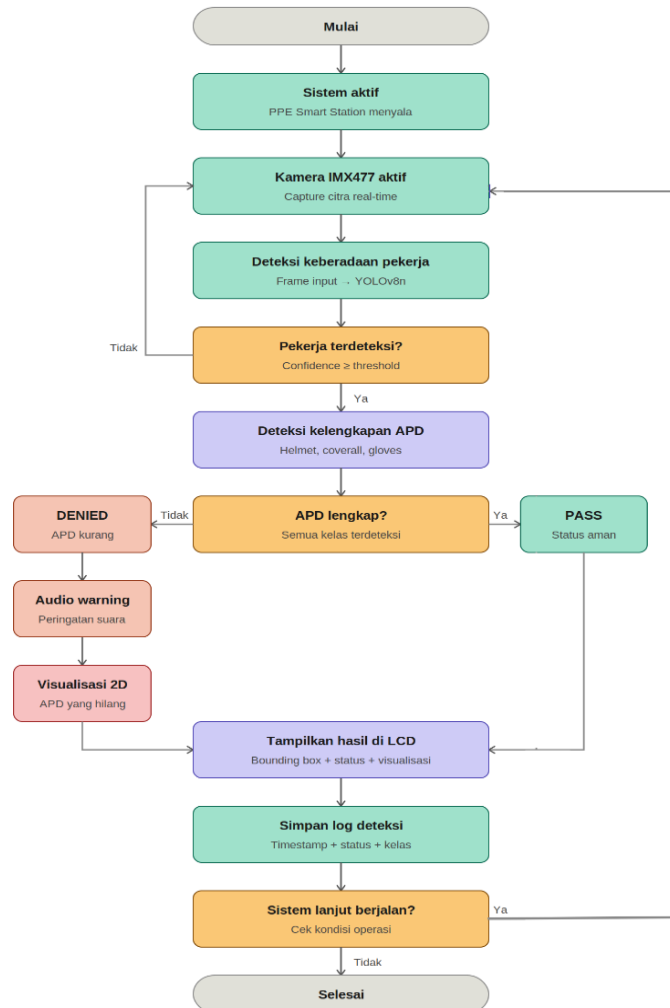
Fitur unggulan sistem adalah kemampuan merender ilustrasi 2D APD yang hilang tepat di atas area tubuh yang bersesuaian ketika kondisi DENIED terjadi, disertai label merah dan keterangan teks. Mekanisme ini mempercepat respons pekerja untuk melengkapi APD sebelum memasuki area kerja. Hasil integrasi seluruh komponen elektronik ditunjukkan pada Gambar 4.



# JASEE

## Journal of Application and Science on Electrical Engineering

<https://jurnal.widyagama.ac.id/index.php/jasee/index>



Gambar 3. Diagram alir sistem deteksi APD

1. Jetson Nano A02 2 GB
2. Waveshare USB Audio Module
3. LCD Touchscreen 7 Inch
4. Camera IMX477 HQ



Gambar 4. Perakitan komponen elektronik PPE Smart Station



# JASEE

## Journal of Application and Science on Electrical Engineering

<https://jurnal.widyagama.ac.id/index.php/jasee/index>



### 4.2 Hasil Pelatihan Model YOLOv8n

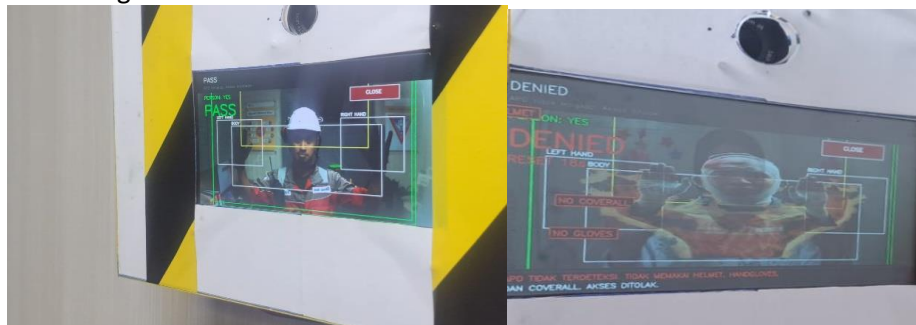
*Testing set* secara keseluruhan berjumlah sekitar 680 citra, namun keluaran evaluasi yang terdokumentasi untuk artikel ini berasal dari *batch* terbatas 11 citra dengan 30 *instance* objek pada kondisi tangkapan mendekati ideal. Hasil pada Tabel 4 menunjukkan *precision* rata-rata 99,0% dan *recall* 100%. Karena *batch* yang dilaporkan relatif kecil, hasil tersebut diposisikan sebagai indikasi awal pada tingkat model dan tidak digunakan untuk mewakili performa lapangan; evaluasi sistem yang lebih realistis dibahas pada Subbab 4.6.

**Tabel 4. Hasil evaluasi model YOLOv8n pada *batch* citra uji (11 citra, 30 *instance*)**

| Kelas           | Jumlah Citra | Jumlah Instance | Precision (%) | Recall (%) |
|-----------------|--------------|-----------------|---------------|------------|
| All (rata-rata) | 11           | 30              | 99,00         | 100,00     |
| Coverall        | 9            | 9               | 99,00         | 100,00     |
| Gloves          | 5            | 5               | 99,20         | 100,00     |
| Helmet          | 5            | 5               | 99,10         | 100,00     |
| Person          | 11           | 11              | 98,50         | 100,00     |

### 4.3 Pengujian Deteksi APD dan Variasi Gender

Pada pengujian deteksi, model YOLOv8n mengenali *person* beserta tiga jenis APD dengan *confidence* objek tervalidasi umumnya di atas 90% pada pencahayaan normal dan terang. Gambar 5 memperlihatkan contoh deteksi pada personel pria dan wanita. Pengamatan ini menunjukkan bahwa fungsi PASS/DENIED dapat dijalankan pada kedua contoh tersebut, tanpa dimaksudkan sebagai analisis statistik berdasarkan gender.



**Gambar 5. Hasil deteksi status PASS/DENIED pada personel pria (kiri) dan wanita (kanan)**

### 4.4 Pengujian Variasi Jarak Deteksi

Untuk menentukan rentang jarak kerja optimal, dilakukan pengujian dengan memvariasikan jarak personel terhadap detektor dari 50 cm hingga 400 cm, sementara tinggi pemasangan detektor dipertahankan tetap (155 cm, dalam rentang 150–160 cm) dan tinggi personel 171 cm. Kombinasi APD yang dikenakan pada uji ini adalah helm + *coverall* (tanpa sarung tangan), sehingga tujuannya murni mengukur keberhasilan deteksi terhadap jarak, bukan pencapaian status PASS. Hasilnya dirangkum pada Tabel 5.



# JASEE

## Journal of Application and Science on Electrical Engineering

<https://jurnal.widyagama.ac.id/index.php/jasee/index>



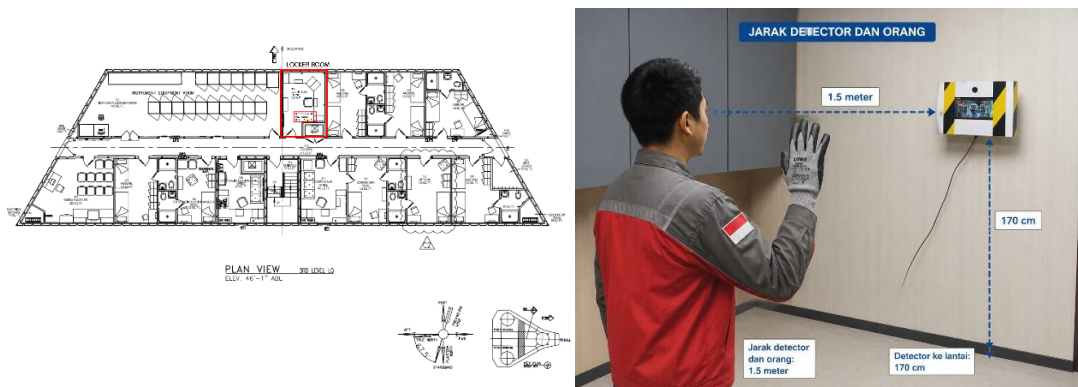
**Tabel 5. Hasil pengujian variasi jarak deteksi APD (helm + coverall)**

| No | Jarak Uji (cm) | Tinggi Detektor (cm) | Person Valid (height_ok) | APD Terdeteksi                                     | Status |
|----|----------------|----------------------|--------------------------|----------------------------------------------------|--------|
| 1  | 50             | 155                  | ✓                        | APD tidak terdeteksi (objek terpotong/di luar FOV) | DENIED |
| 2  | 100            | 155                  | ✓                        | Helm                                               | DENIED |
| 3  | 150            | 155                  | ✓                        | Helm + Coverall                                    | DENIED |
| 4  | 200            | 155                  | ✓                        | Helm                                               | DENIED |
| 5  | 250            | 155                  | ✓                        | APD tidak terdeteksi                               | DENIED |
| 6  | 300            | 155                  | ✓                        | APD tidak terdeteksi                               | DENIED |
| 7  | 350            | 155                  | ✓                        | APD tidak terdeteksi                               | DENIED |
| 8  | 400            | 155                  | ✓                        | APD tidak terdeteksi                               | DENIED |

Deteksi personel (height\_ok) terpenuhi pada seluruh jarak 50–400 cm, sehingga faktor pembatas bukan pada validasi personel melainkan pada keberhasilan deteksi objek APD. Pada 50 cm, objek terlalu dekat sehingga sebagian APD terpotong atau berada di luar bidang pandang; deteksi mulai berhasil pada 100 cm (helm) dan mencapai hasil terbaik pada 150 cm ketika helm dan *coverall* terdeteksi bersamaan. Pada 200 cm helm masih terdeteksi namun *coverall* tidak, dan pada 250–400 cm objek APD menjadi terlalu kecil (*small object*) sehingga berada di bawah ambang deteksi model nano. Dengan demikian, rentang jarak optimal berada pada 100–200 cm dengan performa terbaik pada 150 cm; temuan ini memvalidasi pemilihan jarak 1,5 m (150 cm) untuk pengujian 30 sampel pada Subbab 4.6.

### 4.5 Konfigurasi Pengujian Lapangan

Pengujian lapangan dilakukan dengan jarak antara detektor dan personel diatur 1,5 meter dan ketinggian pemasangan 170 cm dari lantai, agar kamera menangkap wajah dan tubuh bagian atas secara optimal. Alat ditempatkan di *Locker Room Level 3 Living Quarters*, tepat di jalur utama menuju area kerja, sehingga pemeriksaan APD berlangsung sebelum personel melanjutkan aktivitas operasional. Konfigurasi jarak, ketinggian, dan tata letak penempatan alat ditunjukkan pada Gambar 6.



**Gambar 6. Konfigurasi instalasi dan tata letak penempatan detektor**



# JASEE

## Journal of Application and Science on Electrical Engineering

<https://jurnal.widyagama.ac.id/index.php/jasee/index>



### 4.6 Analisis Kinerja Sistem

Analisis kinerja bertumpu pada 30 sampel data lapangan yang melibatkan variasi kelengkapan APD dan gender personel. Dari pengujian tersebut diperoleh TP = 24, TN = 4, FP = 1, dan FN = 1, dengan total 30 sampel, sebagaimana disusun pada matriks kebingungan (*confusion matrix*) Tabel 6. Satu kesalahan *False Positive* terjadi pada sampel nomor 20 (sistem DENIED padahal APD lengkap) dan satu *False Negative* pada sampel nomor 19 (sistem PASS padahal APD kurang).

**Tabel 6. *Confusion matrix* hasil pengujian 30 sampel**

| Kondisi Nyata \ Prediksi | DENIED                              | PASS                  |
|--------------------------|-------------------------------------|-----------------------|
| Tidak Lengkap            | TP = 24 (sampel 1–10, 15–18, 21–30) | FN = 1 (sampel 19)    |
| Lengkap                  | FP = 1 (sampel 20)                  | TN = 4 (sampel 11–14) |

Berdasarkan nilai tersebut, perhitungan parameter menghasilkan *precision* =  $24/(24+1) = 96,0\%$ , *recall* =  $24/(24+1) = 96,0\%$ , dan *F1-measure* =  $96,0\%$ , *Accuracy* =  $(24 + 4) / 30 \times 100\% = 28 / 30 \times 100\% = 93,3\%$ . Sedangkan *error rate* =  $(1+1)/30 \times 100\% = 6,7\%$ . Rekapitulasi lengkap disajikan pada Tabel 7.

**Tabel 7. Rekapitulasi hasil parameter evaluasi sistem**

| No | Parameter           | Hasil        | Keterangan                                         |
|----|---------------------|--------------|----------------------------------------------------|
| 1  | True Positive (TP)  | 24           | Sampel 1–10, 15–18, 21–30 → sistem benar DENIED    |
| 2  | True Negative (TN)  | 4            | Sampel 11–14 → sistem benar PASS                   |
| 3  | False Positive (FP) | 1            | Sampel 20: APD lengkap tapi DENIED                 |
| 4  | False Negative (FN) | 1            | Sampel 19: APD kurang tapi PASS                    |
| 5  | <b>Precision</b>    | <b>96,0%</b> | 96,0% prediksi DENIED adalah benar                 |
| 6  | <b>Recall</b>       | <b>96,0%</b> | 96,0% APD kurang berhasil terdeteksi               |
| 7  | <b>F1-Measure</b>   | <b>96,0%</b> | Keseimbangan Precision & Recall                    |
| 8  | <b>Accuracy</b>     | <b>93,3%</b> | (TP + TN) / N — 28 dari 30 sampel diprediksi benar |
| 9  | <b>Error Rate</b>   | <b>6,7%</b>  | 2 dari 30 sampel prediksi salah                    |

Nilai *precision*, *recall*, dan *F1-measure* sebesar 96,0% menunjukkan keputusan sistem yang relatif konsisten pada 30 sampel, sedangkan *accuracy* 93,3% berarti 28 dari 30 sampel diklasifikasikan dengan benar dan *error rate* 6,7% menunjukkan dua kesalahan prediksi. Dengan cakupan pengujian tersebut, PPE Smart Station menunjukkan kelayakan awal pada kondisi lapangan yang dievaluasi.

### 4.7 Analisis Faktor Kegagalan

Kedua kesalahan berkaitan dengan posisi tubuh terhadap kamera tetap (*fixed mounting*), sebagaimana Gambar 7. Pada sampel 19, kondisi aktual APD tidak lengkap tetapi sistem menghasilkan PASS (*False Negative*). Personel setinggi 175 cm menempatkan area tangan dekat batas bawah bidang pandang sehingga validasi zona tangan tidak berjalan andal dan memicu keputusan yang keliru. Pada sampel 20, personel setinggi 162 cm berada lebih rendah dari sudut pandang optimal; area sarung tangan tampil dengan kontras rendah dan menghasilkan DENIED meskipun APD lengkap (*False Positive*).



# JASEE

## Journal of Application and Science on Electrical Engineering

<https://jurnal.widyagama.ac.id/index.php/jasee/index>



**Gambar 7. Kasus kegagalan deteksi: personel 175 cm (kiri) dan 162 cm (kanan)**

Dari sudut pandang keselamatan, kasus *False Negative* (sampel 19) merupakan yang paling kritis karena sistem meloloskan personel dengan APD tidak lengkap; meskipun hanya terjadi satu kali pada pengujian ini, kejadian tersebut menegaskan bahwa sistem belum boleh dianggap bebas risiko dan perlu diperbaiki. Sebaliknya, *False Positive* (sampel 20) lebih dapat ditoleransi karena hanya menimbulkan ketidaknyamanan tanpa risiko keselamatan. Temuan ini menegaskan perlunya penyesuaian ketinggian/kemiringan kamera, penambahan penanda posisi berdiri, atau penambahan kamera kedua untuk mengakomodasi keragaman postur tubuh. Konsisten pula dengan uji variasi jarak (Subbab 4.4), objek berukuran kecil pada posisi ekstrem memang paling rentan gagal dikenali oleh model nano.

### 5. SIMPULAN

Penelitian ini berhasil merancang dan mengimplementasikan PPE Smart Station berbasis YOLOv8n yang dioptimasi TensorRT pada NVIDIA Jetson Nano A02. Sistem mengintegrasikan deteksi APD, *state machine* PASS/DENIED, validasi zona anatomis, visualisasi 2D APD yang belum lengkap, dan peringatan *audio-visual* dalam satu perangkat *embedded*. Pada tingkat model, *batch* evaluasi terbatas menghasilkan *precision* 99,0% dan *recall* 100% pada kondisi mendekati ideal. Pada tingkat sistem lapangan, 30 sampel menghasilkan *precision*, *recall*, dan *F1-measure* 96,0%, *accuracy* 93,3%, serta *error rate* 6,7%. Uji jarak menunjukkan kinerja terbaik pada 150 cm. Dengan cakupan tersebut, sistem menunjukkan kelayakan awal pada kondisi yang dievaluasi. Keterbatasan penelitian meliputi jumlah sampel kecil, komposisi kelas tidak seimbang, satu lokasi pengujian, serta satu *False Negative* yang kritis. Pengembangan selanjutnya diarahkan pada penyesuaian posisi kamera, perluasan *dataset*, dan validasi berskala lebih besar.

### UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Widyagama Malang atas dukungan fasilitas laboratorium selama penelitian, serta kepada PT Husky-CNOOC Madura Limited yang telah memberikan izin dan dukungan dalam proses pengambilan data dan pengujian sistem di lingkungan industri.



# JASEE

## Journal of Application and Science on Electrical Engineering

<https://jurnal.widyagama.ac.id/index.php/jasee/index>



### DAFTAR RUJUKAN

- [1] K. S. Alfidyani, D. Lestantyo, and I. Wahyuni, "Hubungan pelatihan K3, penggunaan APD, pemasangan safety sign, dan penerapan SOP dengan terjadinya risiko kecelakaan kerja," *Jurnal Kesehatan Masyarakat*, vol. 8, no. 4, pp. 478–483, 2020.
- [2] Republik Indonesia, *Undang-Undang Nomor 1 Tahun 1970 tentang Keselamatan Kerja*. Jakarta: Sekretariat Negara, 1970.
- [3] Republik Indonesia, *Peraturan Pemerintah Nomor 11 Tahun 1979 tentang Keselamatan Kerja pada Pengolahan Minyak dan Gas Bumi*. Jakarta: Sekretariat Negara, 1979.
- [4] G. Gallo, F. Di Rienzo, F. Garzelli, P. Ducange, and C. Vallati, "A smart system for personal protective equipment detection in industrial environments based on deep learning at the edge," *IEEE Access*, vol. 10, pp. 110862–110878, 2022, doi: 10.1109/ACCESS.2022.3215148.
- [5] A. Barlybayev, A. Sharipbay, G. Ulyukova, T. Sabyrov, and B. Kuzenbayev, "Personal protective equipment detection using YOLOv8 architecture on object detection benchmark datasets: a comparative study," *Cogent Engineering*, vol. 11, no. 1, art. 2333209, 2024, doi: 10.1080/23311916.2024.2333209.
- [6] A. Husain, M. Tamboli, S. Surwade, and M. H. Qureshi, "Automated PPE detection using YOLOv8 for real-time workplace safety monitoring," *International Journal of Innovative Science and Research Technology*, vol. 9, no. 4, pp. 1–7, 2024.
- [7] N. D. Nath, A. H. Behzadan, and S. G. Paal, "Deep learning for site safety: real-time detection of personal protective equipment," *Automation in Construction*, vol. 112, art. 103085, 2020, doi: 10.1016/j.autcon.2020.103085.
- [8] Z. Wang, Y. Wu, L. Yang, A. Thirunavukarasu, C. Evison, and Y. Zhao, "Fast personal protective equipment detection for real construction sites using deep learning approaches," *Sensors*, vol. 21, no. 10, art. 3478, 2021, doi: 10.3390/s21103478.
- [9] J. Redmon, S. Divvala, R. Girshick, and A. Farhadi, "You only look once: unified, real-time object detection," in *Proc. IEEE Conf. Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR)*, 2016, pp. 779–788, doi: 10.1109/CVPR.2016.91.
- [10] A. Hayat and F. Morgado-Dias, "Deep learning-based automatic safety helmet detection system for construction safety," *Applied Sciences*, vol. 12, no. 16, art. 8268, 2022, doi: 10.3390/app12168268.
- [11] M. Ferdous and S. M. M. Ahsan, "PPE detector: a YOLO-based architecture to detect personal protective equipment (PPE) for construction sites," *PeerJ Computer Science*, vol. 8, art. e999, 2022, doi: 10.7717/peerj-cs.999.
- [12] NVIDIA Corporation, *NVIDIA Jetson Nano Developer Kit Technical Reference Manual*. Santa Clara, CA: NVIDIA Corporation, 2021. [Online]. Available: <https://developer.nvidia.com/jetson-nano>
- [13] G. Jocher, A. Chaurasia, and J. Qiu, "Ultralytics YOLOv8," 2023. [Online]. Available: <https://github.com/ultralytics/ultralytics>
- [14] J. Terven, D.-M. Córdova-Esparza, and J.-A. Romero-González, "A comprehensive review of YOLO architectures in computer vision: from YOLOv1 to YOLOv8 and YOLO-NAS," *Machine Learning and Knowledge Extraction*, vol. 5, no. 4, pp. 1680–1716, 2023, doi: 10.3390/make5040083.



# JASEE

## Journal of Application and Science on Electrical Engineering

<https://jurnal.widyagama.ac.id/index.php/jasee/index>



- [15] Republik Indonesia, *Peraturan Pemerintah Nomor 50 Tahun 2012 tentang Penerapan Sistem Manajemen Keselamatan dan Kesehatan Kerja (SMK3)*. Jakarta: Sekretariat Negara, 2012.
- [16] Kementerian Tenaga Kerja dan Transmigrasi Republik Indonesia, *Peraturan Menteri Tenaga Kerja dan Transmigrasi Nomor PER.08/MEN/VII/2010 tentang Alat Pelindung Diri*. Jakarta, 2010.
- [17] Raspberry Pi Ltd., *High Quality Camera (IMX477) Datasheet*. Cambridge, UK: Raspberry Pi Ltd., 2020. [Online]. Available: <https://www.raspberrypi.com>
- [18] V. V. Kukartsev, R. A. Ageev, and A. S. Borodulin, "Deep learning for object detection in images: development and evaluation of the YOLOv8 model using Ultralytics and Roboflow libraries," in *Lecture Notes in Networks and Systems*, 2024, pp. 476–484.