

**PENGEMBANGAN SISTEM PERINGATAN DINI
PELANGGARAN K3 MELALUI INTEGRASI KAMERA PINTAR
BERBASIS *CNN-YOLOV8* DI GUDANG BETON KIG**

SKRIPSI



Oleh :

MAULA ARINGGA MAGHFUR

NPM. 22032010047

**PROGRAM STUDI TEKNIK INDUSTRI
FAKULTAS TEKNIK DAN SAINS
UNIVERSITAS PEMBANGUNAN NASIONAL "VETERAN"
JAWA TIMUR**

2026

**PENGEMBANGAN SISTEM PERINGATAN DINI
PELANGGARAN K3 MELALUI INTEGRASI KAMERA PINTAR
BERBASIS CNN-YOLOV8 DI GUDANG BETON KIG**

SKRIPSI

Diajukan sebagai Salah Satu Syarat
Untuk Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
Program Studi Teknik Industri



Diajukan Oleh :
MAULA ARINGGA MAGHTUR
NPM. 22032010047

**PROGRAM STUDI TEKNIK INDUSTRI
FAKULTAS TEKNIK DAN SAINS
UNIVERSITAS PEMBANGUNAN NASIONAL "VETERAN"
JAWA TIMUR
SURABAYA
2026**

SKRIPSI

PENGEMBANGAN SISTEM PERINGATAN DINI PELANGGARAN K3 MELALUI INTEGRASI KAMERA PINTAR BERBASIS CNN-YOLOV8 DI GUDANG BETON KIG

Disusun Oleh:

MAULA ARINGGA MAGHFUR

22032010047

Telah dipertahankan di hadapan Tim Penguji Skripsi dan diterima oleh
Publikasi Jurnal Akreditasi Sinta 1-3
Program Studi Teknik Industri Fakultas Teknik dan Sains
Universitas Pembangunan Nasional "Veteran" Jawa Timur Surabaya
Pada Tanggal : 19 Februari 2025

Tim Penguji:

1.

Ir. Moch. Tutuk Safirin, MT.

NIP. 19530406 198903 1 001

2.

Ir. Joumil Aidil Saifuddin ZS., MT.

NIP. 19620318 199303 1 001

Pembimbing:

1.

Tranggono, ST., MT.

NIPPPK. 19861222 202521 1 055

2.

Mega Cattlewa Prameswari

Annissa Islami, S.ST., MT.

NPT. 21219921112290

Mengetahui,
Dekan Fakultas Teknik dan Sains
Universitas Pembangunan Nasional "Veteran" Jawa Timur
Surabaya

Prof. Dr. Dra. Juriyah, M.P.

NIP. 19650403 199103 2 001



KETERANGAN REVISI

Mahasiswa di bawah ini:

Nama : Maula Aringga Maghfur

NPM : 22032010047

Program Studi : ~~Teknik Kimia~~ / Teknik Industri / ~~Teknologi Pangan~~ /
~~Teknik Lingkungan~~ / ~~Teknik Sipil~~

Telah mengerjakan revisi / ~~tidak ada revisi~~ *) ~~PRA-RENCANA (DESAIN)~~ /
~~SKRIPSI / TUGAS AKHIR~~ Ujian Lisan Periode Februari, TA 2025/2026.

Dengan Judul : **PENGEMBANGAN SISTEM PERINGATAN DINI
PELANGGARAN K3 MELALUI INTEGRASI KAMERA
PINTAR BERBASIS CNN-YOLOV8 DI GUDANG BETON
KIG**

Dosen yang memerintahkan revisi:

1. Tranggono, ST., MT.
2. Ir. Moch. Tutuk Safirin, MT.
3. Ir. Joumil Aidil SZS., MT.

Surabaya, 18 Februari 2026

Menyetujui,

Dosen Pembimbing

Tranggono, ST., MT.

NPT. 17119861222053



SURAT PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Maula Aringga Maghfur

NPM : 22032010047

Program : Sarjana (S1)

Program Studi : Teknik Industri

Fakultas : Teknik dan Sains

Menyatakan bahwa dalam dokumen ilmiah skripsi ini tidak terdapat bagian dari karya ilmiah lain yang telah diajukan untuk memperoleh gelar akademik pada suatu lembaga pendidikan tinggi, serta tidak terdapat karya atau pendapat yang pernah ditulis atau diterbitkan oleh orang atau lembaga lain, kecuali yang secara tertulis disitasi dalam dokumen ini dan disebutkan secara lengkap dalam Daftar Pustaka.

Saya juga menyatakan bahwa dokumen ilmiah ini bebas dari unsur plagiarisme. Apabila di kemudian hari ditemukan adanya indikasi plagiarisme dalam skripsi ini, saya bersedia menerima sanksi sesuai dengan peraturan perundang-undangan yang berlaku.

Demikian surat pernyataan ini saya buat dengan sesungguhnya dan tanpa adanya paksaan dari pihak mana pun untuk dipergunakan sebagaimana mestinya.

Surabaya, 19 Februari 2026

Yang Membuat Pernyataan

Maula Aringga Maghfur

NPM. 22032010047

KATA PENGANTAR

Segala puji penulis panjatkan ke hadirat Allah Subhānahu wa Ta'ala atas rahmat, karunia, dan hidayah-Nya, sehingga laporan skripsi yang berjudul “Pengembangan Sistem Peringatan Dini Pelanggaran K3 melalui Integrasi Kamera Pintar Berbasis CNN-YOLOv8 di Gudang Beton KIG” ini dapat diselesaikan tepat waktu tanpa kendala yang berarti. Shalawat serta salam semoga senantiasa tercurah kepada junjungan kita Nabi Muhammad SAW beserta keluarga, sahabat, dan seluruh pengikutnya hingga akhir zaman.

Skripsi ini disusun sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana (S-1) pada Program Studi Teknik Industri, Fakultas Teknik dan Sains, Universitas Pembangunan Nasional “Veteran” Jawa Timur (UPNVJT). Keberhasilan penyusunan skripsi ini tidak terlepas dari bantuan, dukungan, dan motivasi berbagai pihak. Oleh karena itu, dengan segala kerendahan hati, penulis menyampaikan ucapan terima kasih dan penghargaan kepada:

1. Bapak Prof. Dr. Ir. Akhmad Fauzi, MMT., IPU, selaku Rektor Universitas Pembangunan Nasional “Veteran” Jawa Timur.
2. Ibu Prof. Dr. Dra. Jariyaah, M.P., selaku Dekan Fakultas Teknik dan Sains Universitas Pembangunan Nasional “Veteran” Jawa Timur.
3. Bapak Ir. Rusindiyanto, M.T., selaku Koordinator Program Studi Teknik Industri Universitas Pembangunan Nasional “Veteran” Jawa Timur.
4. Bapak Tranggono, S.T., M.T., selaku Dosen Pembimbing I, atas bimbingan, arahan, serta kesediaan meluangkan waktu selama proses penyusunan skripsi.

5. Ibu Mega Cattleya Prameswari A. I., S.ST., M.T., selaku Dosen Pembimbing II, atas saran, masukan, dan motivasi yang diberikan.
6. Ibu Rizqi Novita Sari, S.ST., M.T., selaku Dosen Penguji I, atas nasihat, saran, dan masukan demi kesempurnaan skripsi ini.
7. Ibu Dr. Farida Pulansari, S.T., M.T., CSCM., CIIQA., IPM., selaku Dosen Penguji II, atas nasihat, saran, dan masukan demi kesempurnaan skripsi ini.
8. Seluruh Bapak dan Ibu Dosen Fakultas Teknik dan Sains Universitas Pembangunan Nasional “Veteran” Jawa Timur atas ilmu dan keteladanan selama masa perkuliahan.
9. Seluruh staf akademik, tata usaha, dan perpustakaan Universitas Pembangunan Nasional “Veteran” Jawa Timur atas bantuan selama masa studi.
10. Pimpinan dan seluruh staf PT Petrokopindo Cipta Selaras atas izin dan kerja sama yang diberikan selama proses penelitian.
11. Kedua orang tua tercinta, Ayahanda Shofwan Hadi dan Ibunda Nur Ainin, yang senantiasa mendoakan, mendukung, dan mencurahkan kasih sayang tanpa henti kepada penulis.
12. Saudara kandung tercinta Imam Wahyu R. dan Dian Sukma A. atas doa, dukungan, dan kebersamaan yang berarti bagi penulis.
13. Serta pihak-pihak lain yang tidak dapat penulis sebutkan satu per satu.

Sesungguhnya hanya Allah Maha Penyempurna, oleh karena itu meskipun tugas akhir ini dibuat dengan segenap daya dan usaha tentu masih ada kekurangan yang menyertainya. Maka, penulis dengan penuh kelapangan hati menerima adanya kemungkinan kritik dan saran dari pembaca. Harap penulis, semoga tugas akhir ini bermanfaat bagi penulis sendiri dan umumnya bagi siapa saja yang membacanya.

Surabaya, 05 Januari 2026

Penulis
Maula Aringga M.

DAFTAR ISI

COVER	1
COVER DALAM	i
LEMBAR PENGESAHAN	ii
KETERANGAN REVISI	iii
SURAT PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI	iv
KATA PENGANTAR.....	i
DAFTAR ISI.....	iv
DAFTAR GAMBAR	ix
DAFTAR TABEL	xiii
DAFTAR LAMPIRAN	xv
ABSTRAK	xvi
<i>ABSTRACT</i>	xvii
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	6
1.3 Tujuan Penelitian.....	7
1.4 Batasan Penelitian	8
1.5 Asumsi Penelitian.....	9
1.6 Manfaat Penelitian.....	10
1.6.1 Manfaat Teoritis	10
1.6.2 Manfaat Praktis	11
1.7 Sistematika Penelitian	11
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	13
2.1 Keselamatan dan Kesehatan Kerja (K3)	13
2.1.1 Definisi dan Konsep K3	13
2.1.2 Regulasi dan Standar K3	15
2.1.3 Peran K3 dalam Industri Gudang dan Konstruksi.....	16
2.1.4 Alat Pelindung Diri (APD).....	19
2.1.5 Hirarki Pengendalian Risiko K3	22
2.1.6 Aspek Privasi dan Etika dalam Penerapan AI untuk K3	24

2.2	<i>Artificial Intelligence (AI) Taxonomy</i>	26
2.2.1	<i>Artificial Intelligence (AI)</i>	27
2.2.2	<i>Machine Learning (ML)</i>	28
2.2.2.1	<i>Metode - Metode Machine Learning</i>	29
1.	<i>Supervised learning</i>	29
2.	<i>Unsupervised learning</i>	31
3.	<i>Semi Supervised learning</i>	32
4.	<i>Reinforcement Learning</i>	33
2.2.3	<i>Neural Network (NN)</i>	34
2.2.3.1.	<i>Struktur Neural Network</i>	35
2.2.4	<i>Deep Learning (DL)</i>	36
2.2.5	<i>Generative AI</i>	37
2.3	<i>Convolutional Neural Network (CNN)</i>	38
2.3.1	<i>Lapisan Utama dalam CNN</i>	39
2.3.1.1.	<i>Convolutional Layers</i>	39
2.3.1.2.	<i>Pooling Layers</i>	40
2.3.1.3.	<i>Fully Connected Layers</i>	41
2.3.1.4.	<i>Output Layers (Lapisan Keluaran)</i>	42
2.3.2	<i>Overfitting dan Underfitting</i>	44
2.4	<i>OpenCV</i>	46
2.4.1	<i>Cara Kerja OpenCV dalam Computer Vision</i>	47
2.5	<i>Deteksi Objek (Object Detection)</i>	48
2.5.1	<i>Fundamental Task dalam object detection</i>	49
2.6.1.1	<i>Classification</i>	49
2.6.1.2	<i>Localization</i>	50
2.5.2	<i>Object Localization Techniques</i>	50
2.6.2.1	<i>Anchor Box</i>	50
2.6.2.2	<i>Bounding Box</i>	51
2.6	<i>Algoritma YOLO (You Only Look Once)</i>	51
2.6.1	<i>Sejarah Perkembangan YOLO (v1–v8)</i>	53
2.6.2	<i>Prinsip Kerja YOLO</i>	55
2.6.3	<i>YOLO untuk Deteksi APD</i>	55

2.6.4 Pemilihan Metode Teknis/Pendekatan Deteksi APD	56
2.7 Sistem Peringatan Dini (<i>Early Warning System</i>).....	59
2.8 Evaluasi Model Deteksi Objek.....	59
2.8.1 Perhitungan Tingkat Kepatuhan Penggunaan APD.....	60
2.8.2 <i>Confusion Matrix</i>	61
2.8.3 <i>Precision, Recall, Accuracy, F1 Score</i>	61
2.8.4 <i>Mean Average Precision (mAP)</i>	62
2.8.5 <i>Trade off</i> antara Akurasi dan <i>Real time</i>	63
2.9 Penelitian terdahulu	63
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	70
3.1 Waktu dan Tempat Penelitian	70
3.2 Bahan dan Alat Penelitian	71
3.2.1 Bahan Penelitian.....	71
3.2.2 Alat Penelitian	72
3.3 Desain Penelitian.....	74
3.3.1 Jenis Metode Penelitian.....	74
3.3.2 Variabel Penelitian.....	77
3.4 Pengumpulan Data	78
3.5 Tahap Pengolahan Data	79
3.5.1 <i>Pre-Processing</i>	79
3.5.2 <i>Development Machine Learning</i>	80
3.6 Tahap Analisis Data.....	81
3.7 Prosedur Penelitian.....	82
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN.....	92
4.1 Analisis Persyaratan Data.....	92
4.1.1 Pengumpulan Data	92
4.1.2 Pengolahan Data.....	99
4.1.2.1 <i>Data Pre-Processing</i>	99
1. <i>Data Reduction/Selection</i>	99
2. <i>Labelling/Annotation</i>	100
3. <i>Data Transformation</i>	101
4. <i>Data Augmentation</i>	105

4.1.2.2	<i>Machine Learning Development</i>	107
4.2	Hasil dan Pembahasan.....	120
4.2.1	Pengembangan Model (<i>Model Development</i>)	120
4.2.1.1	Korelogram sumbu xy-wh untuk <i>Bounding Boxes</i>	122
4.2.1.2	<i>Confusion Matrix</i> untuk Deteksi Objek	124
4.2.1.3	Kurva <i>F1-Confidence</i> dari Model.....	125
4.2.1.4	Kurva <i>Precision-Confidence</i> dari Model	126
4.2.1.5	Kurva <i>Recall-Confidence</i> dari Model.....	127
4.2.1.6	Kurva <i>Precision Recall</i> dari Model	128
4.2.1.7	Skor <i>Loss</i> dan Skor <i>mAP</i> dari model pada data <i>training-validation-testing</i>	129
4.2.2	Implementasi ke sistem Webcam	132
4.2.2.1	Konfigurasi Sistem	132
4.2.2.2	Konfigurasi Kamera.....	133
4.2.2.3	<i>Labelling</i> dan Klasifikasi Pelanggaran	133
4.2.2.4	<i>Helper functions</i>	134
4.2.2.5	<i>Load Model YOLO</i>	135
4.2.2.6	Klasifikasi Pelanggaran	135
4.2.2.7	Alarm dan Notifikasi	140
4.2.2.8	<i>Image Overlay</i>	141
4.2.2.9	<i>CSV Logging</i>	143
4.2.2.10	<i>Main camera Loop</i>	144
4.2.2.11	<i>Main function</i>	148
4.2.2.12	<i>Entry Point</i>	149
4.3	Integrasi Ke Sistem HSE Perusahaan.....	150
4.3.1	Akuisisi Citra Kamera	153
4.3.2	<i>Preprocessing</i> dan Inferensi YOLOv8	154
4.3.3	Klasifikasi Tingkat Pelanggaran K3.....	155
4.3.4	Visualisasi dan <i>Overlay</i> Informasi	156
4.3.5	Alarm dan Peringatan Dini.....	157
4.3.6	Penyimpanan Bukti Pelanggaran	158
4.3.7	Rekapitulasi dan Logging Data Pelanggaran	159

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. 1 Jumlah Klaim Jaminan Kematian tahun 2019 – 2023.....	2
Gambar 2. 1 Ilustrasi kondisi dan aktivitas yang beresiko <i>accident</i> di area Gudang	17
Gambar 2. 2 Ilustrasi kondisi dan aktivitas yang beresiko <i>accident</i> di <i>staging yard</i>	18
Gambar 2. 3 Jenis-jenis Alat Pelindung Diri.....	22
Gambar 2. 4 Skema Piramida Hirarki Kontrol dalam K3	23
Gambar 2. 5 <i>Artificial Intelligence Taxonomy</i>	26
Gambar 2. 6 Proses <i>Machine Learning</i>	29
Gambar 2. 7. <i>Flow work of Supervised Learning</i>	29
Gambar 2. 8 <i>Architecture Flow work of Unsupervised Learning</i>	31
Gambar 2. 9. <i>Flow work of Semi Supervised Learning</i>	32
Gambar 2. 10 <i>Flow work of Reinforcement Learning</i>	33
Gambar 2. 11 <i>Simulating the human brain in AI</i>	35
Gambar 2. 12 <i>Deep learning model architecture</i>	36
Gambar 2. 13 Arsitektur dasar <i>Convolutional Neural Network</i>	39
Gambar 2. 14 (a) <i>Convolutional layer</i> dari CNN; (b) <i>convolution operation</i>	39
Gambar 2. 15 Contoh proses <i>max and average Pooling layer</i>	40
Gambar 2. 16 <i>Fully Connected Layer</i>	41
Gambar 2. 17 Ilustrasi perbandingan tugas <i>Output Layers</i> dalam deteksi APD	43
Gambar 2. 18 Ilustrasi <i>Underfitting</i> , <i>goodfitting</i> dan <i>Overfitting</i>	44
Gambar 2. 19 Contoh <i>Computer vision</i> dalam deteksi objek.....	46
Gambar 2. 20 Ilustrasi <i>Classification</i> dan <i>Localization</i>	49
Gambar 2. 21 Ilustrasi <i>Anchor Box</i> dan <i>Bounding Box</i>	50
Gambar 2. 22 YOLO <i>Object Detection Architecture</i>	52
Gambar 2. 23 Prinsip kerja YOLO (<i>grid prediction</i> dan <i>Bounding Box</i>).	55
Gambar 2. 24 <i>Benchmarking</i> model deteksi objek menggunakan <i>dataset COCO</i>	57
Gambar 2. 25 Perbandingan performa YOLOv8 dan versi sebelumnya.....	57

Gambar 2. 26 Perbandingan performa YOLOv8 dan versi sebelum dan setelahnya	58
Gambar 2. 27 Skema <i>Confusion Matrix</i> (TP, FP, TN, FN).	61
Gambar 3. 1 Lokasi penelitian	71
Gambar 3. 2 Tahap metode RnD <i>waterfall model</i>	75
Gambar 3. 3 Desain alur kerja sistem	76
Gambar 3. 7 <i>Flowchart</i> prosedur Penelitian	83
Gambar 4. 1 <i>PPE Object Detection</i> dari <i>Roboflow Universe</i>	93
Gambar 4. 2 <i>Object Detection Sample using yolov8s Roboflow Model</i>	94
Gambar 4. 3 Pembagian <i>dataset</i>	95
Gambar 4. 4 Persentasi Kelas dalam Pengembangan <i>Dataset</i>	98
Gambar 4. 5 Proses Annotasi gambar untuk <i>dataset</i>	100
Gambar 4. 6 Proses <i>Re-sizing</i> Citra	101
Gambar 4. 7 <i>Remapping Process</i>	102
Gambar 4. 8 Contoh <i>Label Conversion</i> untuk format anotasi YOLOv8.	103
Gambar 4. 9 Opsi <i>Augmentation Process</i>	105
Gambar 4. 10 Konfigurasi Parameter Augmentasi yang Diterapkan pada <i>Dataset</i>	106
Gambar 4. 11 <i>Welcoming page</i> pada <i>Google Colab</i>	108
Gambar 4. 12 <i>Resource monitoring for Computing Machine</i>	109
Gambar 4. 13 <i>Performance measurements for YOLOv8 by Ultralytics</i>	110
Gambar 4. 14 perintah untuk memasang Pustaka (<i>library</i>)	111
Gambar 4. 15 Tampilan setelah <i>Mounting notebook</i> pada <i>Google Drive</i>	111
Gambar 4. 16 Struktur penulisan kode pada <i>File data.yaml</i>	112
Gambar 4. 17 Implementasi Penulisan <i>dataset.yaml</i> dengan struktur penulisan.	112
Gambar 4. 18 Penulisan Kode untuk Memverifikasi Pustaka <i>Ultralytics</i>	113
Gambar 4. 19 Implementasi Kode dan <i>Output Running</i> dari <i>Google Colab</i>	113
Gambar 4. 20 Struktur Penulisan kode untuk memulai <i>training</i>	114
Gambar 4. 21 Implementasi Penulisan perintah untuk <i>Training Model</i>	114
Gambar 4. 22 <i>Feedback Training Model</i> dari <i>Google Colab</i>	115
Gambar 4. 23 Hasil dari Proses <i>Model Training</i>	117
Gambar 4. 24 <i>Development Framework Model</i>	119

Gambar 4. 25 <i>Weights Feedback Model</i>	121
Gambar 4. 26 Korelogram sumbu xywh untuk <i>Bounding Boxes</i>	122
Gambar 4. 27 <i>Confusion Matrix</i> untuk Deteksi Objek	124
Gambar 4. 28 Kurva <i>F1-Confidence</i> dari model.....	125
Gambar 4. 29 Kurva <i>Precision-Confidence</i> dari Model	126
Gambar 4. 30 Kurva <i>Recall-Confidence</i> Dari Model.....	127
Gambar 4. 31 Kurva <i>Precision Recall</i> dari Model.....	128
Gambar 4. 32 <i>Loss-mAP score</i> dari model pada data <i>training-validation-testing</i>	129
Gambar 4. 33 Inisialisasi Parameter dan <i>Path</i> Sistem Deteksi	132
Gambar 4. 34 Inisialisasi <i>Path File</i> Konfigurasi Kamera	133
Gambar 4. 35 Pelabelan Kelas Deteksi	133
Gambar 4. 36 Struktur Kode <i>Helper Functions</i> Sistem Deteksi.....	134
Gambar 4. 37 Struktur Kode Proses Pemuatan Model YOLOv8	135
Gambar 4. 38 Struktur Kode Logika Klasifikasi Tingkat Pelanggaran K3	135
Gambar 4. 39 Struktur Kode Mekanisme Alarm dan Notifikasi Non-Blokir	140
Gambar 4. 40 Struktur Kode <i>Image Overlay</i> sebagai Bukti Pelanggaran.....	141
Gambar 4. 41 Struktur Kode Pencatatan Data Pelanggaran ke dalam Berkas CSV	143
Gambar 4. 42 Struktur Kode <i>Writer Thread</i> untuk <i>Evidence</i> dan <i>Logging</i> Data	144
Gambar 4. 43 Struktur Kode Inisialisasi dan Pembukaan Kamera.....	145
Gambar 4. 44 Struktur Kode untuk Pemrosesan Paralel Berbasis <i>Multithreading</i>	146
Gambar 4. 45 Struktur Kode <i>Capture Thread</i> untuk Akuisisi Citra Kamera.....	147
Gambar 4. 46 Struktur Kode <i>Main Function</i> Sistem Deteksi Pelanggaran K3 ..	147
Gambar 4. 47 Struktur Kode <i>Entry Point</i> Program Sistem Deteksi.....	148
Gambar 4. 48 Stuktur Kode <i>Entry Point</i>	149
Gambar 4. 49 <i>Early Warning System Process Installation Workflow Company X</i>	151
Gambar 4. 50 Diagram Alur proses Akuisisi Citra	154
Gambar 4. 51 Contoh hasil inferensi YOLOv8 yang menampilkan <i>Bounding Box</i> dan label objek APD.....	155

Gambar 4. 52 Tampilan <i>Overlay</i> level pelanggaran pada citra hasil deteksi kamera.	156
Gambar 4. 53 Tampilan <i>live monitoring</i> kamera dengan <i>Bounding Box</i> , label objek, dan informasi pelanggaran.	157
Gambar 4. 54 Aktivasi Alarm sebagai Respons terhadap Pelanggaran K3: Tampilan Program (kiri) dan Log Terminal (kanan)	158
Gambar 4. 55 Contoh perbandingan penyimpanan citra RAW dan citra BUKTI hasil deteksi pelanggaran.	159
Gambar 4. 56 Contoh isi file CSV yang menampilkan rekapitulasi data pelanggaran K3.....	160
Gambar 4. 57 Detail file CSV yang menampilkan rekapitulasi data pelanggaran K3.	161

DAFTAR TABEL

Tabel 1. 1 Distribusi Pelanggaran Penggunaan APD Berdasarkan Observasi	4
Tabel 2. 1 Perbandingan Regulasi K3 Internasional (ILO, WHO, ISO 45001) dengan Nasional (UU Ketenagakerjaan, Permenaker).....	15
Tabel 2. 2 Risiko utama pada industri gudang dan konstruksi beserta langkah pengendalian K3.....	17
Tabel 2. 3 persentase kecelakaan kerja Berdasarkan OSHA.....	18
Tabel 2. 4 Jenis APD di industri gudang dan konstruksi, fungsi, standar	20
Tabel 2. 5 Perbandingan manfaat dan tantangan etis penerapan AI untuk K3.....	25
Tabel 2. 6 Perbedaan AI tradisional dengan AI modern dalam penerapan industri.	28
Tabel 2. 7 Jenis jenis <i>Neural Network</i> dan aplikasinya.....	34
Tabel 2. 8 Perbandingan AI, ML, DL, dan <i>Generative AI</i> berdasarkan karakteristik dan aplikasi.....	37
Tabel 2. 9 Perbandingan <i>Overfitting</i> dengan <i>Underfitting</i>	45
Tabel 2. 10 Perbandingan fitur utama YOLOv1–YOLOv8	54
Tabel 2. 11 Formula evaluasi (<i>Precision, Recall, Accuracy, F1 Score</i>)	62
Tabel 3. 1 Perangkat Keras yang digunakan dalam penelitian.....	72
Tabel 3. 2 Perangkat Lunak yang digunakan dalam penelitian.....	73
Tabel 4. 1 Analisis Statistik <i>Dataset</i> untuk Model Deteksi.....	96
Tabel 4. 2 <i>Loss function</i> hasil <i>training</i>	116
Tabel 4. 3 Metrik performa utama tiap kelas	117
Tabel 4. 4 Penjelasan Korelogram <i>Bounding Box</i>	122
Tabel 4. 5 Nilai <i>Loss</i> pada <i>Data Training</i>	129
Tabel 4. 6 Nilai <i>Loss</i> pada Data Validasi.....	130
Tabel 4. 7 Hasil Metrik Performa (<i>precision, recall, mAP@0.5, mAP@0.5:0.95</i>)	131
Tabel 4. 8 Klasifikasi Pelanggaran Ringan berdasarkan <i>Risk Assessment</i>	137
Tabel 4. 9 Klasifikasi Pelanggaran Sedang berdasarkan <i>Risk Assessment</i>	138
Tabel 4. 10 Klasifikasi Pelanggaran Ringan berdasarkan <i>Risk Assessment</i>	139

Tabel 4. 11 Korelasi Kewajiban Pengusaha Berdasarkan UU No.1 1970 dengan Fitur Sistem Pemantauan APD Berbasis <i>CNN-Yolov8</i>	162
Tabel 4. 12 Korelasi Kewajiban Pengusaha Berdasarkan PP No. 50 2012 tentang SMK3 dengan Fitur Sistem Pemantauan APD Berbasis <i>CNN-Yolov8</i>	163
Tabel 4. 13 Korelasi Kewajiban Pengusaha Berdasarkan Permenakertrans No.8 2010 tentang APD dengan Fitur Sistem Pemantauan APD Berbasis <i>CNN-Yolov8</i>	164
Tabel 4. 14 Klasifikasi sanksi atas pelanggaran penggunaan APD.....	165
Tabel 4. 15 Hasil observasi pelanggaran penggunaan APD sebelum sistem diterapkan.....	167
Tabel 4. 16 Rekapitulasi dan distribusi jenis pelanggaran sebelum sistem diterapkan	168
Tabel 4. 17 Tingkat kepatuhan awal dalam periode pengamatan sebelum sistem diterapkan.....	169
Tabel 4. 18 Hasil observasi pelanggaran penggunaan APD setelah sistem diterapkan	170
Tabel 4. 19 Rekapitulasi dan distribusi jenis Pelanggaran setelah sistem diterapkan	171
Tabel 4. 20 Tingkat kepatuhan akhir dalam periode pengamatan setelah sistem diterapkan.....	172

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1. Surat Izin Penelitian dan Memorandum internal	187
Lampiran 2. Dokumentasi Lokasi Penelitian	189
Lampiran 3. Data Kecelakaan Kerja	191
Lampiran 4. Pedoman Penerapan Sistem Pengawasan yang terikat pada Regulasi Perusahaan.....	192
Lampiran 5. Dasar Penentuan Jenis Pelanggaran Beserta Sanksinya	197
Lampiran 6. Spesifikasi Perangkat Keras dan Perangkat Lunak	202
Lampiran 7. Cuplikan Kode Program Utama	203
Lampiran 8. Lembar Hasil Observasi dan Wawancara	213
Lampiran 9. Hasil <i>Training</i> dan Evaluasi Model YOLOv8	226
Lampiran 10. <i>Output</i> Sistem	231
Lampiran 11. Workflow Sistem	236

ABSTRAK

Keselamatan dan Kesehatan Kerja (K3) merupakan aspek krusial dalam operasional gudang industri yang memiliki tingkat risiko kerja tinggi, khususnya terkait kepatuhan penggunaan Alat Pelindung Diri (APD). Penelitian ini bertujuan mengembangkan sistem peringatan dini pelanggaran K3 melalui integrasi kamera pintar berbasis *Convolutional Neural Network* (CNN) dan algoritma *You Only Look Once* (YOLOv8) untuk mendeteksi pelanggaran penggunaan APD secara otomatis dan *real time* di Gudang Beton KIG. Metode penelitian yang digunakan adalah *Research and Development* (R&D) dengan tahapan analisis kebutuhan, desain sistem, penulisan kode program, pengujian, serta penerapan dan pemeliharaan sistem. Objek deteksi mencakup kelas kepatuhan dan ketidakpatuhan penggunaan APD (*hardhat*, *mask*, dan *safety vest*) serta objek netral, yaitu *person*, *safety cone*, *vehicle*, dan *machinery*. Hasil pengujian menunjukkan peningkatan performa model yang signifikan, dengan nilai *precision* meningkat dari sekitar 0,6 menjadi 0,9, *recall* dari 0,3 menjadi 0,7, *mAP@0.5* dari 0,3 menjadi 0,8, serta *mAP@0.5–0.95* dari 0,1 menjadi 0,5 pada *epoch* ke-100. Hasil ini menunjukkan bahwa sistem mampu mendeteksi pelanggaran APD secara andal pada kondisi lingkungan kerja yang dinamis serta mendukung penyusunan regulasi internal dan mekanisme sanksi K3 yang lebih terukur.

Kata Kunci: Sistem Peringatan Dini, Keselamatan dan Kesehatan Kerja, Alat Pelindung Diri, Kamera Pintar, YOLOv8

ABSTRACT

Occupational Health and Safety (OHS) is a crucial aspect of industrial warehouse operations that involve high workplace risk, particularly regarding compliance with the use of Personal Protective Equipment (PPE). This study aims to develop an early warning system for OHS violations through the integration of smart cameras based on Convolutional Neural Networks (CNN) and the You Only Look Once (YOLOv8) algorithm to automatically and real-time detect PPE non-compliance in the KIG Concrete Warehouse. The research employed a Research and Development (R&D) method, consisting of needs analysis, system design, program coding, testing, as well as system implementation and maintenance. The detection objects include compliant and non-compliant PPE classes (hardhat, mask, and safety vest) and neutral objects, namely persons, safety cones, vehicles, and machinery. Experimental results show a significant improvement in model performance, with precision increasing from approximately 0.6 to 0.9, recall from 0.3 to 0.7, mAP@0.5 from 0.3 to 0.8, and mAP@0.5–0.95 from 0.1 to 0.5 at the 100th epoch. These results indicate that the proposed system can reliably detect PPE violations under dynamic working conditions and support the formulation of measurable internal OHS regulations and sanction mechanisms.

Keywords: *Early Warning System, Occupational Safety and Health, Personal Protective Equipment, Smart Camera, YOLOv8*