

PENGEMBANGAN DAN PERBANDINGAN MODEL DETEKSI APD K3 PADA PEKERJA INDUSTRI BERBASIS COMPUTER VISION



MUHAMMAD HAERUL
H071201033



PROGRAM STUDI SISTEM INFORMASI
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS HASANUDDIN
MAKASSAR
2024

**PENGEMBANGAN DAN PERBANDINGAN MODEL
DETEKSI APD K3 PADA PEKERJA INDUSTRI
BERBASIS COMPUTER VISION**

**MUHAMMAD HAERUL
H071201033**



**PROGRAM STUDI SISTEM INFORMASI
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS HASANUDDIN
MAKASSAR
2024**

**PENGEMBANGAN DAN PERBANDINGAN MODEL
DETEKSI APD K3 PADA PEKERJA INDUSTRI
BERBASIS COMPUTER VISION**

**MUHAMMAD HAERUL
H071201033**

SKRIPSI

sebagai salah satu syarat untuk mencapai gelar sarjana

Program Studi Sistem Informasi

pada

**PROGRAM STUDI SISTEM INFORMASI
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS HASANUDDIN
MAKASSAR
2024**

SKRIPSI

**PENGEMBANGAN DAN PERBANDINGAN MODEL
DETEKSI APD K3 PADA PEKERJA INDUSTRI
BERBASIS COMPUTER VISION**

MUHAMMAD HAERUL
H071201033

Skripsi,

telah dipertahankan di depan Panitia Ujian Sarjana Sistem Informasi pada
21 Juni 2024 dan dinyatakan memenuhi syarat kelulusan

pada

Program Studi Sistem Informasi
Departemen Matematika
Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam
Universitas Hasanuddin
Makassar

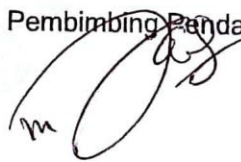
Mengesahkan:

Pembimbing Utama,



A. Muh. Amil Siddik, S.Si., M.Si.
NIP. 199110032019031015

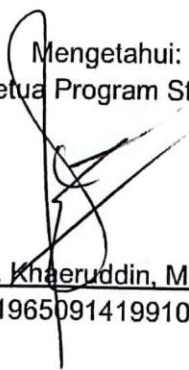
Pembimbing Pendamping,



Muhammad Sadno, S.Si., M.Si.
NIP. 199008162022043001

Mengetahui:

Ketua Program Studi,



Dr. Khaeruddin, M.Sc.
NIP. 196509141991031003



HALAMAN PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI DAN PELIMPAHAN HAK CIPTA

Dengan ini saya menyatakan bahwa, skripsi berjudul "Pengembangan dan Perbandingan Model Deteksi APD K3 pada Pekerja Industri Berbasis *Computer Vision*" adalah benar karya saya dengan arahan dari pembimbing (A. Muh. Amil Siddik, S.Si., M.Si. sebagai Pembimbing Utama dan Muhammad Sadno, S.Si., M.Si. sebagai Pembimbing Pendamping). Karya ilmiah ini belum diajukan dan tidak sedang diajukan dalam bentuk apa pun kepada perguruan tinggi mana pun. Sumber informasi yang berasal atau dikutip dari karya yang diterbitkan maupun tidak diterbitkan dari penulis lain telah disebutkan dalam teks dan dicantumkan dalam Daftar Pustaka skripsi ini. Apabila di kemudian hari terbukti atau dapat dibuktikan bahwa sebagian atau keseluruhan skripsi ini adalah karya orang lain, maka saya bersedia menerima sanksi atas perbuatan tersebut berdasarkan aturan yang berlaku.

Dengan ini saya melimpahkan hak cipta (hak ekonomis) dari karya tulis saya berupa skripsi ini kepada Universitas Hasanuddin.

Makassar, 21 Juni 2024



MUHAMMAD HAERUL
H071201033

UCAPAN TERIMA KASIH

Puji syukur penulis panjatkan atas ke hadirat Allah *Subhanahu Wa Ta'ala* yang telah melimpahkan Rahmat dan hidayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini. Selawat serta salam senantiasa tercurahkan kepada junjungan Nabi Muhammad Shallallahu'Alaihi Wassalam, sebagai Nabi yang telah menjadi suri teladan bagi seluruh umatnya. Penyusunan skripsi yang berjudul "**Pengembangan dan Perbandingan Model Deteksi APD K3 Pada Pekerja Industri Berbasis Computer Vision**" ini diselesaikan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Komputer (S.Kom.) pada Program Studi Sistem Informasi Departemen Matematika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Hasanuddin.

Penulis menyadari bahwa bantuan, dukungan, bimbingan, motivasi, serta nasihat dari semua pihak dalam penyelesaian skripsi ini adalah hal yang sangat-sangat berharga. Pada kesempatan ini, izinkan penulis mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada orang tua penulis, Ayahanda **Saring** dan Ibunda **Nur Naisa** yang telah sabar membesarkan dan mendidik penulis, serta memberikan doa dan dukungan sehingga penulis bisa sampai di titik ini. Terima kasih juga kepada keluarga besar penulis yang telah memberikan doa dan dukungan dalam penyelesaian skripsi ini. Pada kesempatan ini pula, dengan segala kerendahan hati penulis ingin menyampaikan terima kasih kepada:

1. Rektor Universitas Hasanuddin, Bapak **Prof. Dr. Ir. Jamaluddin Jompa, M. Sc.**, beserta jajarannya;
2. Dekan Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Bapak **Dr. Eng. Amiruddin, S.Si., M.Si.**, beserta jajarannya;
3. Ketua Departemen Matematika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Bapak **Dr. Firman, S.Si., M.Si.**, beserta jajarannya.;
4. Ketua Program Studi Sistem Informasi Bapak **Dr. Khaeruddin, M.Sc.**, beserta jajarannya;
5. Bapak **A. Muh. Amil Siddik, S.Si., M. Si.**, dan Bapak **Muhammad Sadno, S.Si., M.Si.** selaku dosen pembimbing yang telah menyediakan waktu, tenaga, dan pikiran untuk mengarahkan penulis dalam penyusunan skripsi ini;
6. Bapak **Dr. Armin Lawi, S.Si., M.Eng.**, dan Bapak **Ir. Eliyah Acantha Manapa Sampetoding, S.Kom., M.Kom.** selaku dosen penguji atas kritikan dan sarannya kepada penulis dalam pengajuan skripsi ini;
7. Prodi **Sistem Informasi Universitas Hasanuddin** yang telah memberikan izin, dukungan, dan bantuan *resources* kepada penulis dalam pengerjaan skripsi ini;
8. **PT XL Axiata Tbk**, Divisi *Technology Strategy and Assurance*, Departemen *New Ventures and Technology Incubation* yang telah memberikan bantuan *resources* kepada penulis dalam pengerjaan skripsi ini;

9. **Tim Galaxy Developer**, Iman Mustika Ismail, Ahmad Fauzan Mansur, Faizah Mappanyompa, Rahmatullah R, dan Muhammad Azhar Tawakkal yang telah mendukung, meramaikan, dan kebersamai perjalanan skripsi ini;
10. Teman-teman mahasiswa **Sistem Informasi Angkatan 2020** Universitas Hasanuddin;
11. Teman-teman alumni **Foxa5 SMAN 1 Polewali, Sandexsa SMPN 2 Polewali**, dan **SDN 006 Polewali**;
12. Teman-teman **MSIB 4 Dikti Kemendikbudristek RI**, khususnya divisi *Artificial Intelligence Development*;
13. Teman-teman **MSIB 5 PT XL Axiata**, khususnya Divisi *Technology Strategy and Assurance* atau X-Camp;
14. Teman-teman program **6th International Cultural Program International Office** Universitas Hasanuddin;
15. Teman-teman **KKNT 111 Infrastruktur PUPR Gowa Posko Tamarunang**;
16. Seluruh pihak yang penulis tidak sebut satu persatu yang telah memberikan bantuan dan dukungan kepada penulis.

Akhir kata, penulis berharap semoga segala bentuk kebaikan yang telah diberikan bernilai ibadah dan mendapatkan balasan dari Allah *Subhanahu Wa Ta'ala*. Penulis juga berharap semoga skripsi ini dapat memberikan manfaat, menambah wawasan, dan berkontribusi dalam pengembangan ilmu pengetahuan

Makassar, 21 Juni 2024

Muhammad Haerul

ABSTRAK

MUHAMMAD HAERUL. **Pengembangan dan Perbandingan Model Deteksi APD K3 pada Pekerja Industri Berbasis *Computer Vision*** (dibimbing oleh A. Muh. Amil Siddik dan Muhammad Sadno)

Latar belakang. Tingginya angka kecelakaan kerja di Industri diakibatkan oleh kelalaian penggunaan dan pemantauan alat pelindung diri (APD) kesehatan dan keselamatan kerja (K3) pada pekerja. **Tujuan.** Penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan dan membandingkan model deteksi APD K3 pada pekerja industri menggunakan algoritma YOLOv8. **Metode.** Metode yang digunakan adalah metode eksperimen kuantitatif dengan melibatkan pengembangan dua model deteksi, yaitu YOLOv8 *object detection* dan YOLOv8 *instance segmentation*. Kedua model ini dilatih dengan 7.000 *data train* dan 2.000 *data validation*. Evaluasi performa dilakukan menggunakan *metrics* berupa *accuracy*, *precision*, *recall*, dan *f1-score*. **Hasil.** Hasil penelitian menunjukkan bahwa model YOLOv8 *object detection* memiliki performa dengan *accuracy* 88,5%, *precision* 90%, *recall* 86,5% dan *f1-score* 88,2%. Sedangkan, model YOLOv8 *instance segmentation* memiliki performa *accuracy* 88,4%, *precision* 85,5%, *recall* 84,2% dan *f1-score* 84,8%. **Kesimpulan.** Model YOLOv8 *object detection* dipilih sebagai model terbaik. Model terbaik ini kemudian diimplementasikan sebagai *engine* aplikasi web berupa *dashboard* menggunakan *framework* Streamlit dan di-*hosting* di Streamlit Cloud. *Dashboard* ini dapat memantau penggunaan APD pada pekerja industri dengan tujuan untuk meningkatkan keselamatan dan mengurangi angka kecelakaan pekerja industri.

Kata kunci: APD K3; pekerja industri; *object detection*; *instance segmentation*; YOLO

ABSTRACT

MUHAMMAD HAERUL. **Development and Comparison of PPE Detection Models in Industrial Workers Based on Computer Vision** (supervised by A. Muh. Amil Siddik and Muhammad Sadno)

Background. The high rate of workplace accidents in the industry is caused by negligence in the use and monitoring of personal protective equipment (PPE) for occupational health and safety (OHS) among workers. **Aim.** This study aims to develop and compare PPE detection models for industrial workers using the YOLOv8 algorithm. **Method.** The method used is a quantitative experimental approach involving the development of two detection models, namely YOLOv8 object detection and YOLOv8 instance segmentation. Both models were trained with 7,000 training data points and 2,000 validation data points. Performance evaluation was conducted using metrics such as accuracy, precision, recall, and f1-score. **Results.** The results of the study indicate that the YOLOv8 object detection model achieved a performance with an accuracy of 88.5%, precision of 90%, recall of 86.5%, and f1-score of 88.2%. In comparison, the YOLOv8 instance segmentation model achieved a performance with an accuracy of 88.4%, precision of 85.5%, recall of 84.2%, and f1-score of 84.8%. **Conclusion.** The YOLOv8 object detection model was selected as the best model. This best model was then implemented as the engine of a web application dashboard using the Streamlit framework and hosted on Streamlit Cloud. This dashboard can monitor the use of PPE among industrial workers to enhance safety and reduce the incidence of workplace accidents in the industry.

Keywords: PPE; industrial workers; object detection; instance segmentation; YOLO

DAFTAR ISI

Halaman

HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN PENGANTAR	ii
HALAMAN PENGESAHAN	iii
HALAMAN PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI	iv
UCAPAN TERIMA KASIH	v
ABSTRAK	vii
ABSTRACT	viii
DAFTAR ISI	ix
DAFTAR TABEL	x
DAFTAR GAMBAR	xi
DAFTAR RUMUS	xii
DAFTAR LAMPIRAN	xiii
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Batasan Masalah	2
1.4 Tujuan Penelitian	2
1.5 Manfaat Penelitian	3
1.6 Kajian Teori	3
1.7 Penelitian Terkait	10
BAB II METODE PENELITIAN	11
2.1 Metode Penelitian	11
2.2 Instrumen Penelitian	11
2.3 Waktu dan Tempat Penelitian	12
2.4 Tahapan Penelitian	12
BAB III HASIL DAN PEMBAHASAN	19
3.1 <i>Dataset</i>	19
3.2 Model YOLOv8 <i>Object Detection</i>	23
3.3 Model YOLOv8 <i>Instance Segmentation</i>	28
3.4 <i>Best Model</i>	33
3.5 <i>Dashboard</i>	34
3.5 Integrasi Sistem Deteksi APD K3 dalam <i>People-Process-Technology</i>	35
BAB IV KESIMPULAN	36
4.1 Kesimpulan	36
4.2 Saran	36
DAFTAR PUSTAKA	37
LAMPIRAN	39

DAFTAR TABEL

Nomor urut	Halaman
1. APD dan gambarnya	3
2. Daftar penelitian deteksi APD K3 dalam tiga tahun terakhir	10
3. Instrumen perangkat keras	11
4. Instrumen perangkat lunak	11
5. Jadwal penelitian	12
6. Sumber <i>dataset</i>	13
7. <i>Confusion matrix</i>	17
8. Detail <i>class dataset</i>	19
9. Variasi <i>dataset</i> berdasarkan industri	20
10. Variasi <i>dataset</i> berdasarkan regional	22
11. Partisi <i>dataset</i>	23
12. <i>Hyperparameter</i> model YOLOv8 <i>object detection</i>	24
13. <i>Performance metrics</i> model YOLOv8 <i>object detection</i>	27
14. <i>Hyperparameter</i> model YOLOv8 <i>instance segmentation</i>	29
15. <i>Performance metrics</i> model YOLOv8 <i>instance segmentation</i>	31
16. Perbandingan <i>metrics</i>	33
17. Perbandingan <i>models</i>	33

DAFTAR GAMBAR

Nomor urut	Halaman
1. Arsitektur YOLO	4
2. Ilustrasi kerja YOLO	4
3. Arsitektur YOLOv8	5
4. <i>Output YOLOv8 object detection</i>	7
5. <i>Output YOLOv8 instance segmentation</i>	8
6. Tahapan penelitian	12
7. <i>Data annotation</i> Roboflow	14
8. <i>Orient image</i>	14
9. <i>Resize image</i>	14
10. <i>Horizontal flip</i>	15
11. <i>Vertical flip</i>	15
12. <i>Rotate image</i>	15
13. Grafik distribusi <i>class dataset</i>	19
14. Grafik variasi <i>dataset</i> berdasarkan industri	22
15. Grafik variasi <i>dataset</i> berdasarkan regional	23
16. <i>Configuration</i> model YOLOv8 <i>object detection</i>	23
17. Grafik <i>box loss</i> model YOLOv8 <i>object detection</i>	24
18. Grafik <i>cls loss</i> model YOLOv8 <i>object detection</i>	25
19. <i>Confusion matrix</i> model YOLOv8 <i>object detection</i>	26
20. <i>Prediction results</i> model YOLOv8 <i>object detection</i>	28
21. <i>Configuration</i> model YOLOv8 <i>instance segmentation</i>	28
22. Grafik <i>seg loss</i> model YOLOv8 <i>instance segmentation</i>	29
23. Grafik <i>cls loss</i> model YOLOv8 <i>instance segmentation</i>	30
24. <i>Confusion matrix</i> model YOLOv8 <i>instance segmentation</i>	31
25. <i>Prediction results</i> model YOLOv8 <i>instance segmentation</i>	32
26. <i>Dashboard</i> deteksi objek pada <i>image</i>	34
27. <i>Dashboard</i> deteksi objek pada <i>video</i>	34

DAFTAR RUMUS

Nomor urut	Halaman
1. <i>Intersection over union</i>	16
2. <i>Box loss</i>	16
3. <i>Sigmoid function</i>	16
4. <i>Seg loss</i>	16
5. <i>Cls loss</i>	17
6. <i>Accuracy</i>	17
7. <i>Precision</i>	17
8. <i>Recall</i>	18
9. <i>F1-score</i>	18
10. <i>Rata-rata metrics</i>	18

DAFTAR LAMPIRAN

Nomor urut	Halaman
1. <i>Training log model YOLOv8 object detection</i>	39
2. <i>Training log model YOLOv8 instance segmentation</i>	43
3. <i>Source code model YOLOv8 object detection</i>	47
4. <i>Source code model YOLOv8 instance segmentation</i>	48
5. <i>Source code dashboard</i>	49

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Penyebab utama terjadinya kecelakaan kerja di industri adalah faktor manusia dengan persentase sebesar 80-85%. Salah satu penyebabnya adalah ketidaksadaran atau kelalaian dalam mematuhi aturan penggunaan alat pelindung diri (APD) di lingkungan kerja (Unair News, 2019). Kepatuhan pekerja dalam menggunakan APD di industri merupakan hasil dari komitmen dan kesadaran terhadap keselamatan dan kesehatan kerja (K3) yang harus dimiliki oleh semua pihak terkait, yakni pekerja, manajemen, dan perusahaan. Seluruh pekerja wajib menggunakan APD dan pihak penyelenggara pekerjaan wajib menyediakannya sesuai aturan Pemerintah Republik Indonesia dalam Peraturan Menteri Ketenagakerjaan No. PER.08/MEN/VII/2010 sebagai bagian dari tindakan bekerja aman untuk mengurangi risiko kecelakaan kerja. Penggunaan APD bagi para pekerja minimal meliputi helm keselamatan, rompi keselamatan, sarung tangan pelindung, dan sepatu pelindung (Mafru *et al.*, 2021).

Pemantauan penggunaan alat pelindung diri oleh pekerja di industri menjadi hal yang penting, tetapi menggunakan manusia sepenuhnya dalam proses pemantauan memiliki sejumlah tantangan yang perlu diatasi. Tantangan tersebut mencakup akurasi, waktu, dan tenaga yang dapat menjadi hambatan dalam mencapai pemantauan yang efisien (Laily *et al.*, 2022). Penerapan *artificial intelligence* dalam proses pemantauan dapat mengatasi tantangan tersebut dan menjadi solusi yang lebih efektif. Model *artificial intelligence* berbasis *computer vision* dapat mendeteksi penggunaan APD pada pekerja secara otomatis. Pemanfaatan *artificial intelligence* dalam pemantauan dapat meningkatkan akurasi, menghemat waktu, dan mengurangi beban kerja manusia.

Penelitian terkait deteksi APD K3 berbasis *computer vision* telah banyak dilakukan dalam tiga tahun terakhir. Penelitian oleh Mailoa dan Santoso pada Januari 2020 menggunakan YOLOv3 untuk mendeteksi helm dan rompi keselamatan, mencapai akurasi sebesar 63,56%. Penelitian serupa oleh Adiwibowo *et al.* pada tahun 2020 menggunakan YOLOv3 dengan akurasi mencapai 93.61%. Penelitian selanjutnya oleh Nurfirmansyah dan Dijaya pada Juli 2022 menggunakan YOLOv4 mencapai akurasi sebesar 80% dalam mendeteksi kelalaian penggunaan APD pada pekerja konstruksi bangunan. Penelitian serupa yang terbaru oleh Nirvana *et al.* pada tahun 2023 menggunakan YOLOv7 dengan akurasi mencapai 87.7%.

Penelitian-penelitian sebelumnya telah banyak mengembangkan model menggunakan algoritma yang sama, yaitu YOLO dengan *dataset* yang berbeda-beda. Hasil penelitian-penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa algoritma jenis YOLO mampu menghasilkan performa yang baik dalam deteksi APD K3. Penelitian ini mengembangkan model deteksi APD K3 menggunakan algoritma YOLO versi terbaru, yaitu YOLOv8 dengan *dataset* yang berbeda. Penelitian ini juga membandingkan performa model YOLO yang dikembangkan dalam penelitian ini dan

model YOLO yang dikembangkan oleh penelitian-penelitian terkait untuk mengetahui model mana yang memiliki performa terbaik dalam deteksi APD K3. Oleh karena itu, penelitian yang dilakukan adalah pengembangan dan perbandingan model deteksi APD K3 pada pekerja industri berbasis *computer vision* menggunakan algoritma YOLOv8 *object detection* dan YOLOv8 *instance segmentation*.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan uraian latar belakang, maka rumusan masalah yang dibahas dalam penelitian ini sebagai berikut:

1. Bagaimana mengembangkan model deteksi APD K3 pada pekerja industri menggunakan algoritma YOLOv8 *object detection* dan YOLOv8 *instance segmentation*?
2. Manakah model yang memiliki performa terbaik di antara YOLOv8 *object detection* dan YOLOv8 *instance segmentation* beserta *hyperparameter*-nya dalam deteksi APD K3 pada pekerja industri?
3. Bagaimana mengimplementasikan model dengan performa terbaik sebagai aplikasi web berupa *dashboard* untuk melakukan deteksi APD K3 pada pekerja industri?

1.3 Batasan Masalah

Penelitian ini memiliki beberapa batasan masalah agar tidak terjadi penyimpangan dan perluasan pada pembahasan, batasan masalah penelitian ini sebagai berikut:

1. Objek yang dideteksi berupa APD K3 pada pekerja industri dalam 8 *classes*, yaitu: *helmet*, *no-helmet*, *vest*, *no-vest*, *gloves*, *no-gloves*, *shoes*, dan *no-shoes*.
2. Pengembangan model menggunakan bahasa pemrograman Python dengan *framework* Ultralytics, TensorFlow dan PyTorch.
3. Model dengan performa terbaik diimplementasikan sebagai aplikasi web berupa *dashboard* menggunakan *framework* Streamlit.

1.4 Tujuan Penelitian

Berdasarkan rumusan masalah, maka tujuan penelitian ini sebagai berikut:

1. Mengembangkan model deteksi APD K3 pada pekerja industri menggunakan algoritma YOLOv8 *object detection* dan YOLOv8 *instance segmentation*.
2. Menentukan model yang memiliki performa terbaik di antara YOLOv8 *object detection* dan YOLOv8 *instance segmentation* beserta *hyperparameter*-nya dalam deteksi APD K3 pada pekerja industri.
3. Mengimplementasikan model dengan performa terbaik sebagai aplikasi web berupa *dashboard* untuk melakukan deteksi APD K3 pada pekerja industri.

1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat yang diharapkan dari penelitian ini sebagai berikut:

1. Penelitian ini dapat membantu meningkatkan keselamatan dan kesehatan kerja di lingkungan industri dengan implementasi sistem deteksi otomatis APD K3 pada pekerja industri.
2. Penelitian ini dapat menjadi referensi untuk penelitian lebih lanjut dalam bidang *computer vision* khususnya topik deteksi APD K3.

1.6 Kajian Teori

1.6.1 Alat Pelindung Diri (APD) Kesehatan dan Keselamatan Kerja (K3)

Alat pelindung diri (APD) adalah suatu alat yang dipakai untuk melindungi diri seseorang dengan cara mengisolasi sebagai atau seluruh tubuh dari potensi bahaya di tempat kerja sesuai aturan kesehatan dan keselamatan kerja (K3) (Djaohar *et al.*, 2022). Alat pelindung diri yang digunakan oleh para pekerja di industri minimal meliputi; 1) helm keselamatan, 2) rompi keselamatan, 3) sarung tangan pelindung, dan 4) sepatu pelindung. Helm keselamatan (*safety helmet*) berfungsi untuk melindungi kepala dari benturan, kejatuhan, terpukul benda tajam atau benda keras, terpapar api, radiasi panas, dan bahan kimia serta melindungi kepala dari potensi bahaya lainnya. Rompi keselamatan (*safety vest*) berfungsi untuk identifikasi pekerja dan memberi visibilitas dalam memudahkan pengawasan dan mengenali posisi pekerja sehingga menghindarkan mereka dari bahaya. Sarung tangan pelindung (*safety gloves*) berfungsi untuk melindungi tangan dari api, suhu panas, suhu dingin, arus listrik, bahan kimia dan berbagai potensi bahaya lainnya. Sepatu pelindung (*safety shoes*) berfungsi untuk melindungi kaki dari benturan benda-benda berat, tertusuk benda tajam, terkena bahan kimia dan potensi bahaya lainnya (Mafra *et al.*, 2021). Berikut ini adalah contoh dari alat pelindung yang ditunjukkan pada Tabel 1.

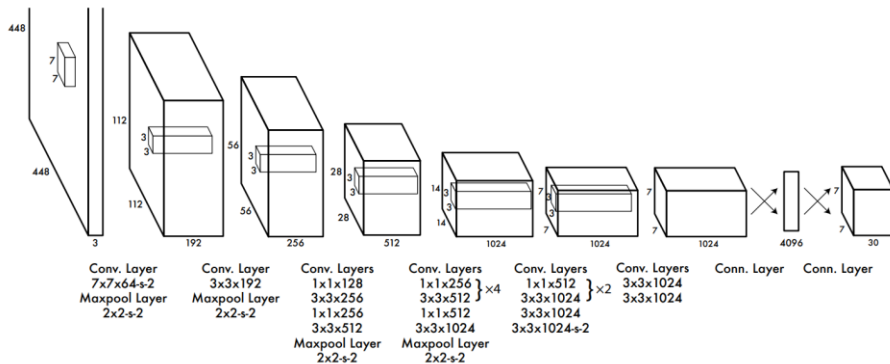
Tabel 1. APD dan Gambarnya

Helm Keselamatan	Rompi Keselamatan	Sarung Tangan Pelindung	Sepatu Pelindung
			

1.6.2 YOLOv8: State of the Art of Computer Vision

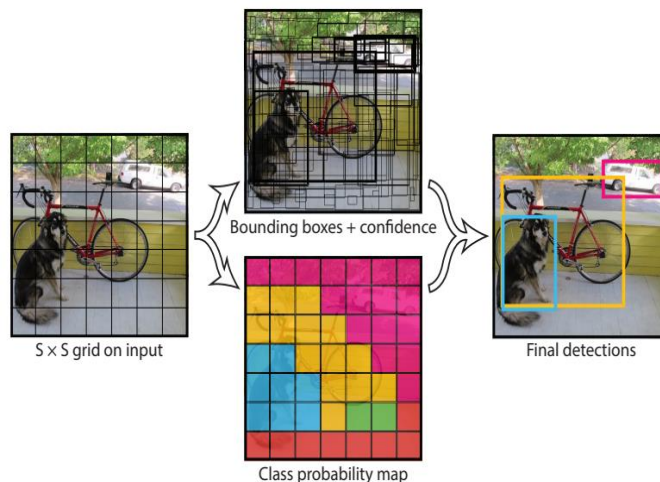
You only look once atau YOLO merupakan sebuah algoritma *computer vision* yang diperkenalkan oleh Joseph Redmon, Santosh Divvala, Ross Girshick, dan Ali Farhadi pada tahun 2015. Algoritma YOLO sangat populer dan banyak digunakan dalam tugas *object detection* dan *instance segmentation* karena mampu mendeteksi karakteristik dari objek dengan sangat baik (Jiang *et al.*, 2022). Algoritma YOLO

mengimplementasikan *single convolutional neural network* dalam memprediksi lokasi dari objek dalam sebuah gambar. Arsitektur YOLO terinspirasi dari arsitektur GoogleLeNet untuk tugas *image classification*. YOLO *network* memiliki 24 *convolutional layers* diikuti dengan 2 *fully connected layers*, ditunjukkan pada Gambar 1 (Redmon *et al.*, 2015).



Gambar 1. Arsitektur YOLO (Redmon *et al.*, 2015)

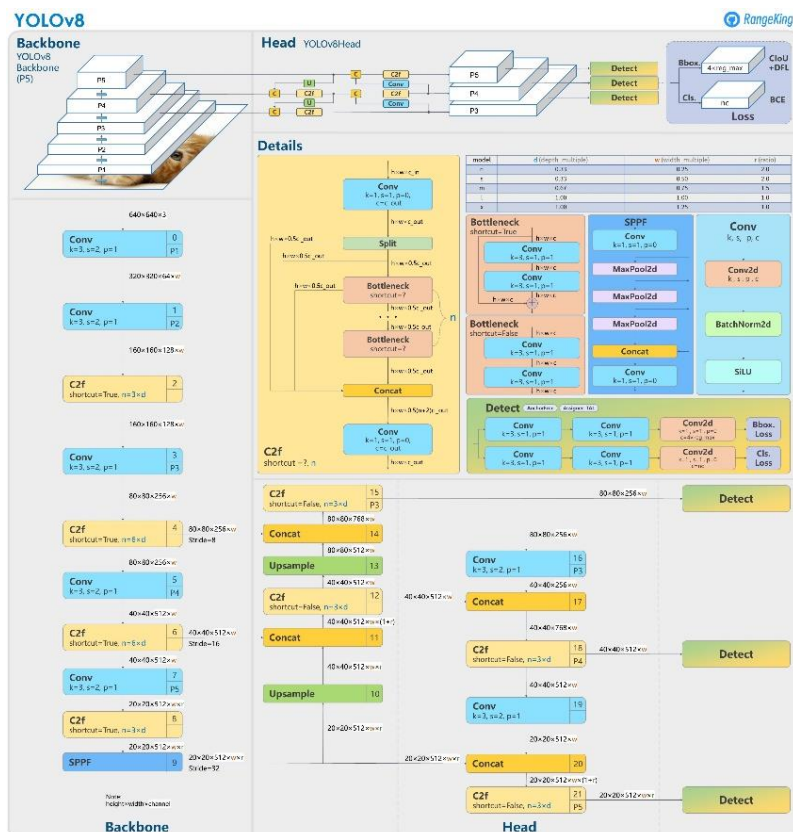
Ilustrasi kerja YOLO ditunjukkan pada Gambar 2. YOLO menerima gambar input dan membaginya menjadi beberapa *grids* berukuran $S \times S$, dengan setiap *grid* akan memprediksi *bounding line* dan nilai dari *bounding line* tersebut. *Output* yang dihasilkan dari algoritma YOLO adalah 4 titik koordinat (x , y , w , dan h) dari *bounding line* dan *confidence score*. Koordinat x dan y menunjukkan posisi pusat dari *bounding line. Koordinat w dan h menunjukkan lebar dan tinggi dari perkiraan objek dalam *bounding line*. *Confidence score* adalah nilai probabilitas dari keberadaan objek dalam *bounding line* tersebut (Mafra *et al.*, 2021).*



Gambar 2. Ilustrasi kerja YOLO (Redmon *et al.*, 2015)

Arsitektur YOLOv8 ditunjukkan pada Gambar 3. Arsitektur YOLOv8 terdiri dari dua komponen utama, yaitu *backbone* dan *head*. Komponen pertama adalah *backbone*, berfungsi untuk mengekstraksi fitur-fitur dari gambar input. *Backbone* terdiri dari lima *convolution layers* dengan *kernel* 3x3 dan *stride* 2. Setiap *convolution layers* melakukan operasi pengurangan resolusi gambar secara bertahap dari *layer* P1 (640 x 640 *pixel*), *layer* P2 (320 x 320 *pixel*), *layer* P3 (160 x 160 *pixel*), P4 (80 x 80 *pixel*) dan P5 (40 x 40 *pixel*). Di antara *convolution layers* tersebut, terdapat C2f *layer* yang melakukan operasi *shortcut* untuk meningkatkan efisiensi komputasi tanpa mengorbankan akurasi. Pada akhir *backbone*, terdapat SPPF (*Spatial Pyramid Pooling-Fast*) *layer* yang menggabungkan informasi dari berbagai skala fitur, memungkinkan model untuk menangkap detail dari berbagai ukuran objek.

Komponen kedua adalah *head*, berfungsi untuk melakukan deteksi objek pada gambar input. Komponen *head* terdiri dari empat operasi, yaitu *upsample*, *concat*, *conv*, dan *detect*. Operasi pertama adalah *upsample*, bertugas untuk meningkatkan resolusi fitur-fitur gambar. Operasi kedua adalah *concat*, bertugas untuk menggabungkan fitur-fitur gambar untuk mendapatkan konteks yang lebih luas dan kaya. Operasi ketiga adalah *conv*, bertugas untuk menghaluskan dan mempersiapkan fitur-fitur gabungan gambar. Operasi keempat adalah *detect*, bertugas untuk mendeteksi dan mengklasifikasikan objek dalam gambar (Ultralytics, 2023).



Gambar 3. Arsitektur YOLOv8 (Ultralytics, 2023)

1.6.2.1 YOLOv8 Object Detection

Object detection adalah tugas *computer vision* yang bertujuan untuk mendeteksi objek dan menentukan lokasinya dalam sebuah gambar. *Object detection* merupakan fundamental dalam *computer vision* yang mampu menyediakan informasi penting dari gambar atau video untuk banyak aplikasi, seperti *image classification*, *human behavior analysis*, *face recognition*, dan *autonomous driving*. Objektif dari *object detection* adalah mengidentifikasi objek dan lokasinya (*object localization*), serta mengklasifikasikan objek tersebut ke dalam *class* (*object classification*). Mekanisme *object detection* terbagi dalam tahapan: *informative region selection*, *feature extraction*, dan *classification* (Zhao et al., 2019).

Salah satu algoritma *object detection* yang banyak digunakan dan memberikan performa baik adalah YOLOv8 *object detection*. Algoritma YOLOv8 *object detection* terdiri dari lima varian yang berbeda dalam hal kinerja, kecepatan, dan jumlah parameter, yang dirancang untuk memenuhi berbagai kebutuhan aplikasi deteksi objek. Varian pertama, YOLOv8n (*nano*), menawarkan efisiensi yang tinggi dengan kecepatan pemrosesan 80.4 milidetik pada CPU ONNX dan 0.99 milidetik pada A100 TensorRT. Varian ini mencapai mAP *box* 37.3 pada skala 50-95. Dengan 3.2 juta parameter dan 8.7 miliar operasi *floating-points* (FLOPs), varian ini sangat sesuai untuk perangkat dengan sumber daya komputasi yang terbatas. Varian kedua, YOLOv8s (*small*), memiliki kecepatan pemrosesan 128.4 milidetik pada CPU ONNX dan 1.20 milidetik pada A100 TensorRT. Varian ini mencapai mAP *box* 44.9 pada skala 50-95. Varian ini terdiri dari 11.2 juta parameter dan 28.6 miliar FLOPs, menawarkan keseimbangan yang baik antara kecepatan dan akurasi, membuatnya ideal untuk aplikasi yang membutuhkan performa lebih tinggi tanpa mengorbankan efisiensi terlalu banyak.

Varian ketiga, YOLOv8m (*medium*), menunjukkan peningkatan akurasi dengan kecepatan 234.7 milidetik pada CPU ONNX dan 1.83 milidetik pada A100 TensorRT. Varian ini mencapai mAP *box* 50.2 pada skala 50-95. Dengan 25.9 juta parameter dan 78.9 miliar FLOPs, varian ini cocok untuk aplikasi yang memerlukan deteksi objek dengan presisi lebih tinggi. Varian keempat, YOLOv8l (*large*), dirancang untuk aplikasi deteksi objek yang lebih kompleks, dengan kecepatan pemrosesan 375.2 milidetik pada CPU ONNX dan 2.39 milidetik pada A100 TensorRT. Varian ini mencapai mAP *box* 52.9 pada skala 50-95. Dengan 43.7 juta parameter dan membutuhkan 165.2 miliar FLOPs, varian ini menunjukkan kemampuan yang sangat baik dalam menangani tugas-tugas deteksi objek yang rumit.

Varian kelima, YOLOv8x (*extra large*), menawarkan akurasi tertinggi dengan kecepatan 479.1 milidetik pada CPU ONNX dan 3.53 milidetik pada A100 TensorRT. Varian ini mencapai mAP *box* 53.9 pada skala 50-95. Dengan 68.2 juta parameter dan 257.8 miliar FLOPs, varian ini dirancang untuk aplikasi yang menuntut tingkat akurasi dan komputasi yang sangat tinggi. Setiap varian YOLOv8 dirancang untuk menawarkan keseimbangan optimal antara kecepatan dan akurasi, memungkinkan pengguna untuk memilih algoritma yang paling sesuai dengan kebutuhan aplikasi deteksi objek mereka. *Output* yang dihasilkan oleh algoritma YOLOv8 *object*

detection adalah prediksi *bounding box*, *class*, dan *confidence score* dari objek-objek yang terdeteksi dalam sebuah gambar. Setiap *bounding box* mencakup koordinat posisi (*x*, *y*, *width*, *height*) dari setiap objek, memberikan informasi spesifik tentang lokasi objek dan ukuran objek dalam sebuah gambar (Ultralytics, 2023). Berikut adalah contoh gambar *output* yang dihasilkan oleh YOLOv8 *object detection*, ditunjukkan pada Gambar 4.



Gambar 4. Output YOLOv8 *object detection* (Ultralytics, 2023)

1.6.2.2 YOLOv8 *Object Detection*

Instance segmentation adalah tugas *computer vision* yang bertujuan untuk mendeteksi objek dan menentukan segmennya dalam sebuah gambar. *Instance segmentation* banyak diimplementasikan, seperti pada proses industri untuk menghitung jumlah hasil produksi, mengetahui jumlah orang yang ada dalam sebuah tempat, dan mengenali sel darah putih yang sehat dan yang terinfeksi dalam prosedur diagnosis penyakit malaria. Objektif dari *instance segmentation* adalah mengidentifikasi objek dan lokasinya (*object localization*), serta mensegmentasikan setiap *pixel* objek tersebut ke dalam *class* (*pixel segmentation*). Mekanisme *instance segmentation* terbagi dalam tahapan: *feature extraction*, *object proposal*, dan *pixel segmentation* (Paredes & Torr, 2016).

Salah satu model *instance segmentation* yang banyak digunakan dan memberikan performa baik adalah YOLOv8 *instance segmentation*. Algoritma YOLOv8 *instance segmentation* terdiri dari lima varian yang berbeda dalam hal kinerja, kecepatan, dan jumlah parameter, yang dirancang untuk memenuhi berbagai kebutuhan aplikasi segmentasi objek. Varian pertama, YOLOv8n-seg (*nano*), adalah varian yang paling efisien di antara varian lainnya. Varian ini mencapai mAP *mask* sebesar 30.5 pada skala 50-95. Kecepatan pemrosesannya adalah 96.1 milidetik pada CPU ONNX dan 1.21 milidetik pada A100 TensorRT, menjadikannya sangat cepat dan efisien. Dengan hanya 3.4 juta parameter dan 12.6 miliar FLOPs, YOLOv8n-seg sangat cocok untuk perangkat dengan sumber daya komputasi yang terbatas, namun tetap memberikan performa yang baik dalam tugas segmentasi. Varian kedua, YOLOv8s-seg (*small*), yang menawarkan keseimbangan yang lebih

baik antara kecepatan dan akurasi. Dengan mAP *mask* sebesar 36.8 pada skala 50-95, varian ini memiliki kecepatan pemrosesan 155.7 milidetik pada CPU ONNX dan 1.47 milidetik pada A100 TensorRT. Dengan 11.8 juta parameter dan 42.6 miliar FLOPs, model ini ideal untuk aplikasi yang memerlukan performa lebih tinggi tanpa mengorbankan efisiensi terlalu banyak.

Varian ketiga, YOLOv8m-seg (*medium*), hadir dengan peningkatan akurasi. Varian ini mencapai mAP *mask* sebesar 40.8 pada skala 50-95. Kecepatan pemrosesannya adalah 317.0 milidetik pada CPU ONNX dan 2.18 milidetik pada A100 TensorRT. Dengan 27.3 juta parameter dan 110.2 miliar FLOPs, YOLOv8m-seg cocok untuk aplikasi yang memerlukan segmentasi objek dengan presisi lebih tinggi. Varian keempat, YOLOv8l-seg (*large*), dirancang untuk aplikasi yang lebih kompleks lagi, dengan mAP *mask* sebesar 42.6 pada skala 50-95. Kecepatan pemrosesannya adalah 572.4 milidetik pada CPU ONNX dan 2.79 milidetik pada A100 TensorRT. Dengan 46.0 juta parameter dan 220.5 miliar FLOPs, varian ini menunjukkan kemampuan yang sangat baik dalam menangani tugas-tugas segmentasi objek yang rumit.

Varian kelima, YOLOv8x-seg (*extra large*) menawarkan akurasi tertinggi di antara semua varian, dengan mAP *mask* sebesar 43.4 pada skala 50-95. Kecepatan pemrosesannya adalah 712.1 milidetik pada CPU ONNX dan 4.02 milidetik pada A100 TensorRT. Dengan 71.8 juta parameter dan 344.1 miliar FLOPs, varian ini dirancang untuk aplikasi yang menuntut tingkat akurasi dan komputasi yang sangat tinggi. Setiap varian YOLOv8-seg dirancang untuk menawarkan keseimbangan optimal antara kecepatan dan akurasi, memungkinkan pengguna untuk memilih algoritma yang paling sesuai dengan kebutuhan aplikasi segmentasi objek mereka. *Output* yang dihasilkan oleh algoritma YOLOv8 *instance segmentation* adalah prediksi *segmentation mask*, *class*, dan *confidence score* dari objek-objek yang terdeteksi dalam sebuah gambar. Setiap *segmentation mask* menunjukkan area spesifik dari setiap objek, yang memberikan representasi yang sangat detail dan akurat mengenai bentuk dan batas objek di dalam gambar (Ultralytics, 2023). Berikut adalah contoh gambar *output* yang dihasilkan oleh YOLOv8 *instance segmentation*, ditunjukkan pada Gambar 5.



Gambar 5. Output YOLOv8 *instance segmentation* (Ultralytics, 2023)

1.6.3 Software dan Framework Computer Vision

1.6.3.1 TensorFlow

TensorFlow adalah sebuah *framework open source* komputasi numerik untuk *machine* dan *deep learning* yang dikembangkan oleh Google Brain Team pada tahun 2015. *Framework* ini tersusun atas Python *front-end* API untuk pembangunan aplikasi pengguna dan C++ untuk eksekusi program. TensorFlow dapat digunakan untuk menjalankan dan melatih *neural network* untuk berbagai program, seperti *object detection* dan *instance segmentation*. Tensorflow mendukung pemodelan *convolutional neural network* (CNN), *recurrent neural network* (RNN), *restricted boltzmann machine* (RBM), dan *dynamic bayesian network* (DBN) (Wiranda *et al.*, 2020).

1.6.3.2 PyTorch

PyTorch adalah sebuah *framework machine* dan *deep learning* berbasis *torch* yang dikembangkan oleh Meta AI Team pada tahun 2017. PyTorch didesain dengan prinsip untuk mendukung gaya *imperative* dan *pythonic programming* dengan mendukung *code* sebagai model, melakukan *debugging* dengan mudah, dan konsisten dengan *libraries* komputasi saintifik lainnya. PyTorch memiliki *clear syntax*, *streamlined* API, dan *easy debugging* membuat PyTorch memiliki kualifikasi yang baik untuk digunakan secara profesional. PyTorch mendukung pemodelan *linear layers*, *convolutional layers*, *recurrent layers*, dan *transformers* (Stevens *et al.*, 2020).

1.6.3.3 Roboflow

Roboflow adalah sebuah aplikasi berbasis web yang berfokus pada pembangunan dan pengembangan model *computer vision*. Roboflow dikembangkan oleh investor institusional Craft Ventures, Lachy Groom Fund, dan Y Combinator. Aplikasi ini dirilis pada Januari 2020 dengan tujuan mendukung para *developer* dalam membangun *software* berbasis *computer vision*. Aplikasi ini dapat digunakan untuk pengumpulan data, pemrosesan gambar, anotasi gambar, membangun model, dan mengimplementasikan model.

1.6.3.4 Streamlit

Streamlit adalah sebuah *framework open-source* yang digunakan untuk membangun aplikasi web interaktif berupa *dashboard* menggunakan bahasa pemrograman Python. Streamlit memungkinkan integrasi model *computer vision*, termasuk model *object detection* dan *instance segmentation*, yang dapat dikembangkan menggunakan *library* seperti TensorFlow, PyTorch, atau Ultralytics. Streamlit menyediakan *tools* untuk mengintegrasikan model *computer vision* ke dalam aplikasi web dengan mudah. Penulisan sintaks yang sederhana dan desain tampilan yang interaktif, Streamlit dapat dengan cepat membangun aplikasi web yang memvisualisasikan hasil deteksi objek dalam gambar, ataupun video.

1.7 Penelitian Terkait

Berikut ini adalah daftar penelitian terkait deteksi APD K3 menggunakan algoritma YOLO yang pernah dilakukan dalam 3 tahun terakhir, ditunjukkan pada Tabel 2.

Tabel 2. Daftar penelitian deteksi APD K3 dalam tiga tahun terakhir

Judul Penelitian	Nama Peneliti & Waktu Publikasi	Metode & Dataset	Hasil Penelitian
Deteksi Rompi dan Helm Keselamatan Menggunakan Metode YOLO dan CNN	Peneliti: Rescky Marthen Mailoa dan Leo Willyanto Santoso Waktu: Januari 2020	Algoritma: YOLOv3 <i>Image:</i> 2738 <i>Class:</i> <i>helmet, no-helmet, vest, no-vest</i>	<i>Accuracy:</i> 64,09% (kepala), 63,03% (badan), 63,56% (rata-rata) <i>Recall:</i> 88,22% (kepala), 88,04% (badan), 88,13% (rata-rata)
Deteksi Alat Pelindung Diri Menggunakan Metode YOLO dan <i>Faster R-CNN</i>	Peneliti: Jonathan Adiwirowo, Kartika Gunadi, dan Endang Setyati Waktu: 2020	Algoritma: YOLOv3 <i>Image:</i> 800 <i>Class:</i> <i>helmet, headset, glasses, mask</i>	<i>Accuracy:</i> 93,61%, <i>Precision:</i> 88,07%, <i>Recall:</i> 82,37%, <i>F1-Score:</i> 84,67%
Deteksi Kelalaian Alat Pelindung Diri (APD) Pada Pekerja Konstruksi Bangunan	Peneliti: Agustin Nurfirmansyah dan Rohman Dijaya Waktu: Juli 2022	Algoritma: YOLOv4 <i>Image:</i> 500 <i>Class:</i> <i>helmet, no-helmet, mask, no-mask, vest, no-vest, gloves, no-gloves, shoes, no-shoes</i>	<i>Accuracy:</i> 80%
Sistem Pendeteksi Alat Pelindung Diri (APD) Pada Pekerja Konstruksi Berbasis <i>Convolutional Neural Network</i>	Peneliti: Muhammad Naofal Nirvana, Reza Fuad Rachmadi, Ketut Eddy Purnama Waktu: Juli 2023	Algoritma: YOLOv7 <i>Image:</i> 3001 <i>Class:</i> <i>helmet, glasses, vest, gloves, shoes, head, body, worker</i>	<i>Accuracy:</i> 87,7%, <i>Precision:</i> 86,5%, <i>Recall:</i> 82%