

Sistem Pendeteksi Alat Pelindung Diri (ADP) pada Pekerja Konstruksi Berbasis Convolutional Neural Network

Muhammad Naofal Nirvana , Reza Fuad Rachmadi dan I Ketut Eddy Purnama
Departemen Teknik Komputer, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS)
e-mail: fuad@its.ac.id

Abstrak—Penelitian ini bertujuan mengembangkan sistem deteksi Alat Pelindung Diri (APD) pada pekerja konstruksi menggunakan kamera dan algoritma deteksi objek YOLOv7 berbasis Convolutional Neural Network. Sistem ini memberikan pengawasan dan peringatan terhadap penggunaan APD yang tidak lengkap. Dataset yang digunakan mencakup beberapa sasaran kelas seperti orang, kepala, helm empat warna, kacamata, rompi, sarung tangan, dan sepatu keselamatan kerja. Model-model yang telah dikembangkan mencapai akurasi yang baik, terutama YOLOv7 pada jarak ideal 3 meter dan 4,5 meter dengan nilai mAP 0,912 dan 0,947 masing-masing. Pengujian mekanisme alarm menunjukkan akurasi sebesar 1,0 pada jarak 1,5 meter dan 3 meter. Namun, pada kondisi hujan dan pencahayaan kurang, akurasi model sedikit menurun. Penghalang seperti bagian tubuh atau benda menyebabkan kesulitan mendeteksi sarung tangan dan kacamata secara tepat. Usaha telah dilakukan untuk menempatkan objek secara ideal, tetapi hal ini tidak efektif dalam mendeteksi kedua objek tersebut. Penelitian ini menjadi langkah maju dengan menghadirkan lebih banyak sasaran kelas dibandingkan penelitian sebelumnya.

Kata Kunci—Sistem, Deteksi, Alat Pelindung Diri, Convolutional Neural Network.

I. PENDAHULUAN

ALAT Pelindung Diri selanjutnya disingkat APD adalah suatu alat yang mempunyai kemampuan untuk melindungi seseorang yang fungsinya mengisolasi sebagian atau seluruh tubuh dari potensi bahaya di tempat kerja. Penggunaan APD diatur dalam Peraturan Menteri Tenaga Kerja dan Transmigrasi Republik Indonesia NOMOR PER.08/MEN/VII/2010 tentang ALAT PELINDUNG DIRI [1].

Walaupun sudah diatur dalam peraturan pemerintah, belum menjamin semua pekerja menggunakan APD saat diinstruksikan untuk digunakan. Melalui jurnal Menakar Implementasi Kebijakan Keselamatan dan Kesehatan Kerja di Indonesia oleh Masrully pada tahun 2019, Sekretaris Umum BPD Gabungan Pelaksana Konstruksi Indonesia atau GAPENSI menyatakan bahwa menurutnya sejumlah proyek konstruksi yang digarap perusahaan BUMN sering didapati pekerja yang mengabaikan keselamatan kerja [2].

Dalam penanggulangan kelalaian penggunaan APD, perusahaan-perusahaan yang melakukan pekerjaan pada umumnya sudah mengerahkan supervisor atau pengawas berupa petugas K3 atau Ahli K3 yang dimana juga bertugas untuk mengawasi penggunaan APD sebagai salah satu bentuk K3. Pengerahannya diatur dalam PERATURAN MENTERI PEKERJAAN UMUM DAN PERUMAHAN RAKYAT NOMOR : 21/PRT/M/2019 tentang Pedoman Sistem Manajemen Keselamatan Konstruks [1] i. Tetapi, petugas K3

yang dikerahkan pada umumnya masih melakukan pengawasan secara manual. Disini seperti yang diketahui yaitu manusia memiliki batasan tertentu dimana luas area pengawasan yang terlalu luas dan banyaknya jumlah pekerja yang harus diawasi menjadi tantangan.

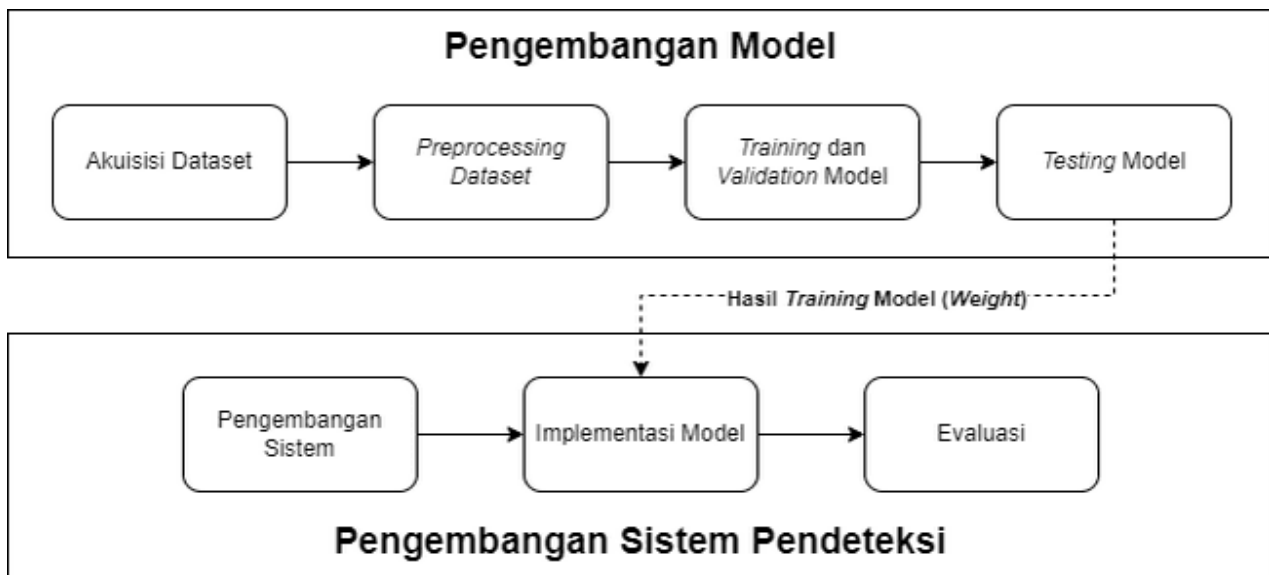
Dengan perkembangan teknologi yang ada, penulis ingin membuat sebuah sistem pendeteksi Alat Pelindung Diri (APD) pada pekerja konstruksi dengan menggunakan algoritma multi object detection yaitu YOLOv7. Algoritma ini merupakan algoritma object detection versi pembaruan dari algoritma YOLO sebelum-sebelumnya yang berbasis Convolutional Neural Network (CNN). Penulis berharap dengan adanya sistem pendeteksi ini akan memudahkan proses pengawasan terhadap penggunaan Alat Pelindung Diri (APD) pada pekerja di lokasi konstruksi.

II. PENELITIAN TERKAIT

Deteksi APD pada pekerja konstruksi telah menjadi bidang penelitian yang penting beberapa tahun terakhir karena pentingnya penggunaan APD saat bekerja untuk mengurangi cedera maupun kematian jika terjadi kecelakaan kerja. Selain itu, Badan Penyelenggara Jaminan Sosial (BPJS) Ketenagakerjaan mencatat, jumlah kecelakaan kerja di Indonesia sebanyak 265.334 kasus sejak Januari-November 2022. Jumlah tersebut naik 13,26% dibandingkan sepanjang tahun 2021 yang sebesar 234.270 kasus. Kang et al. (2017) menemukan bahwa 70% dari semua insiden jatuh melibatkan kekurangan APD [3].

Md. Ferdous dan Sk. Md. Masudul Ahsan pada bulan April 2022 lalu melakukan penelitian dimana mereka membuat sistem pendeteksi APD otomatis berbasis Visi Komputer. Sedangkan untuk algoritma deteksi yang digunakan, penelitian ini menggunakan arsitektur anchor-free YOLO — yaitu YOLO versi X atau YOLOX secara spesifik. Penelitian ini menggunakan dataset bernama "CHVG Dataset" dimana CHVG merupakan kependekan dari Color Hardhat Vest Glass yang merupakan deskripsi dari isi dari dataset itu sendiri. Dari hasil pengujian yang dilakukan, didapatkan rata-rata mAP terbesarnya yaitu 89,84% yang dihasilkan oleh model dengan jenis YOLOX-m [4].

Dalam sebuah studi baru-baru ini, Priyanto pada tahun 2022 juga melakukan penelitian mengenai deteksi helm keselamatan kerja dengan menerapkan metode CNN yang menggunakan algoritma object detection yaitu YOLOv5. Sistem yang dikembangkan pada penelitian ini sudah real-time dimana dapat menerima input berupa feed webcam dan juga terdapat mekanisme alarm yang terpicu jika terdeteksi ada orang yang tidak menggunakan helm keselamatan kerja. Dari hasil pengujian sistem yang dilakukan dengan jarak 1



Gambar 1. Alur Kerja Penelitian.

meter sampai 10 meter, didapatkan akurasi sebesar 92% pada kondisi normal dan 82% pada kondisi penerangan yang kurang.

Dapat disimpulkan bahwa deteksi APD telah menjadi bidang penelitian aktif dalam beberapa tahun terakhir, dan berbagai penelitian telah mengusulkan pendekatan yang berbeda menggunakan visi komputer dan teknik deep learning. Penelitian-penelitian yang telah disebutkan di atas telah mendemonstrasikan bahwa pendekatan dengan deep learning telah mencapai hasil akurasi dan proses deteksi yang tinggi dan cepat, membuatnya cocok untuk sistem deteksi APD secara real time yang dapat membantu pengawasan penggunaannya di lapangan. Namun, penelitian yang lebih lanjut dibutuhkan agar sistem-sistem tersebut dapat mencapai akurasi lebih tinggi dan proses deteksi yang lebih cepat dan membuatnya lebih kokoh dalam segala kondisi dan lingkungan.

III. METODOLOGI

A. Alur Kerja Penelitian

Gambar 1 menunjukkan alur kerja penelitian sebagai pedoman untuk penulis selama melakukan penelitian.

B. Akuisi Dataset

Dataset yang digunakan untuk training YOLOv7 berupa dataset berisi citra-citra yang mengandung personel lapangan proyek yang mengenakan Alat Pelindung Diri (APD) dan yang tidak mengenakan APD. Untuk penelitian ini, dataset yang digunakan bersumber dari: (1) CHVG Dataset oleh Md. Ferdous dan Sk. Md. Masudul Ahsan: Dataset ini merupakan dataset yang dibuat dan digunakan pada penelitian oleh Md. Ferdous dan Sk. Md. Masudul Ahsan pada bulan Juni tahun 2022 tentang sistem pendeteksi APD. CHVG merupakan singkatan dari Color Hardhat, Vest, Glass yang menggambarkan konten dari dataset itu sendiri. Dataset ini berisi delapan kelas yang berbeda, yaitu helm keselamatan kerja empat warna (merah, biru, kuning, dan putih) dimana setiap warna memiliki kelasnya sendiri, rompi, kacamata pengaman, tubuh orang, dan kepala orang. Dataset ini berisi 1.699 gambar dengan ukuran 640x640 dan anotasi yang

sesuai dari delapan kelas tersebut ;(2) Gloves Dataset, Boots Dataset, dan PPE-Detection dari Roboflow Universe: Penulis mengambil tiga macam dataset dari website Roboflow Universe yaitu Gloves Dataset, Boots Dataset, dan PPE-Detection. Ketiga dataset tersebut merupakan dataset yang disediakan secara open source oleh Roboflow yang dapat digunakan secara umum karena sifatnya yang open source. Sesuai namanya, ketiga dataset tersebut berisi citra sarung tangan, sepatu keselamatan kerja, dan rompi yang sesuai dengan ketentuan APD. Dataset ini memiliki empat kelas yaitu glove, safety boot, vest, dan worker yang sudah dianotasi dengan sesuai. Dataset ini memiliki total 1302 gambar dengan campuran resolusi 1920x1080 dan 640x640.

C. Preprocessing Dataset

Setelah mengumpulkan dataset-dataset seperti yang disebutkan pada Subbab III-B, selanjutnya akan disebut Dataset Deteksi APD sebagai penggabungan keempat dataset tersebut untuk mempersingkat. Ada beberapa proses yang dilakukan untuk Dataset Deteksi APD agar bisa digunakan untuk proses training dengan lebih baik. Proses tersebut meliputi anotasi ulang dataset, pembagian dataset, dan augmentasi citra. Untuk penelitian ini, proses-proses tersebut dilakukan pada platform Roboflow.

1) Anotasi Ulang Dataset

Dataset Deteksi APD sudah memiliki pelabelan atau anotasi masing-masing namun terdapat dua *class* berbeda pada objek yang sama yaitu kelas *person* dan kelas *worker* yang ditujukan untuk objek badan orang dari kepala hingga ujung kaki. Proses anotasi ulang citra dilakukan di platform Roboflow seperti yang terlihat pada Gambar 4. Sehingga setelah anotasi ulang terdapat sepuluh kelas pada Dataset Deteksi APD yaitu *red, yellow, blue, white, person, head, glass, vest, glove, dan safety boot*.

2) Pembagian Dataset

Pembagian dataset merupakan tahap dimana dataset dibagi menjadi beberapa kelompok dengan perbandingan jumlah data tertentu. Pada penelitian ini, Dataset Deteksi APD akan dibagi menjadi 3 kelompok/set dengan rasio 80%



(a) Sampel Citra (b) Sampel Citra
Gambar 2. Sampel citra CHVG Dataset.



(a) Sampel Citra (b) Sampel Citra
Gambar 3. Sampel citra pada dataset Gloves Dataset, Boots Dataset, dan PPE-Detection.

Tabel 1.
Detail Dataset Deteksi APD

Detail	Keterangan
Total Citra	3001
Jumlah <i>Training Set</i>	2397
Jumlah <i>Validation Set</i>	301
Jumlah <i>Testing Set</i>	303

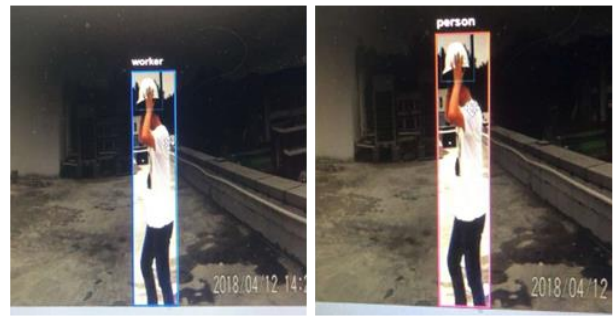
train set, 10% *validation set*, dan 10% *test set*. Pembagian dataset ini bertujuan agar proses *training*, *validation* dan *testing* dapat dijalankan. Pembagian dataset dengan rasio tersebut disesuaikan dengan penelitian yang dilakukan oleh M. Ferdous dan S. M. Ahsan yang melakukan pembagian dataset dengan rasio yang sama dan menghasilkan akurasi yang baik. Setelah dibagi dengan rasio tersebut, detail Dataset Deteksi APD bisa dilihat pada Tabel 1.

3. *Augmentasi Citra*

Augmentasi citra merupakan proses memodifikasi satu citra menjadi beberapa citra dengan karakteristik yang berbeda-beda seperti memberikan perubahan orientasi, kecerahan, penerangan, rotasi, dan lain-lain seperti pada Gambar 5 sebagai contoh. Pada penelitian ini augmentasi citra yang dilakukan menggunakan konfigurasi sebagai berikut:

1. *Outputs per training example*: 3.
2. *Flip*: Vertical, Horizontal.
3. *90° Rotate*: Clockwise, Counter-Clockwise.
4. *Hue*: Between -50° and $+50^\circ$.
5. *Saturation*: Between -50% and $+50\%$.
6. *Brightness*: Between -35% and $+35\%$.
7. *Exposure*: Between -0% and $+0\%$.
8. *Noise*: Up to 5% of pixels.

Detail akhir Dataset Deteksi APD setelah melalui proses augmentasi citra dapat dilihat pada Tabel 2. Sampel citra CHVG Dataset dapat dilihat pada Gambar 2 dan Sampel citra



(a) Kelas Lama (b) Kelas Baru
Gambar 4. Nama Kelas Lama dengan Nama Kelas Baru.



Gambar 5. (a) Sebelum Augmentasi. (b) Setelah augmentasi *Noise*, *Hue*, *Saturation*, *Brightness*, dan *Exposure*.

Tabel 2.

Detail Dataset Deteksi APD Setelah Proses Augmentasi Citra	
Detail	Keterangan
Total Citra	7795
Jumlah <i>Training Set</i>	7191
Jumlah <i>Validation Set</i>	301
Jumlah <i>Testing Set</i>	303
Jumlah label "red"	1560
Jumlah label "yellow"	3792
Jumlah label "blue"	1680
Jumlah label "white"	4527
Jumlah label "person"	15864
Jumlah label "head"	2517
Jumlah label "glass"	2280
Jumlah label "vest"	7374
Jumlah label "glove"	4017
Jumlah label "safety boot"	4467

pada dataset *Gloves Dataset*, *Boots Dataset*, dan *PPE-Detection* dapat dilihat pada Gambar 3.

D. *Training Validation, dan Testing Model YOLOv7*

Dataset yang sudah melalui preprocess sebelumnya di Roboflow dan sudah memiliki anotasi yang sesuai lalu digunakan untuk training model menggunakan algoritma YOLOv7. Training ini merupakan proses pelatihan model dengan input citra dari dataset yang sudah diberi anotasi dimana gambar dan anotasinya tersebut diolah hingga menghasilkan suatu karakteristik atau pola khusus dari kelas/label yang ditentukan sebelumnya lewat anotasi sehingga selanjutnya dapat digunakan komputer untuk memprediksi citra yang nantinya dideteksi. Saat proses training tersebut berjalan, akan dijalankan juga secara paralel proses validasi pada akhir setiap iterasi proses training model yang menggunakan *Validation Set* untuk mengevaluasi hasil setiap iterasi training tersebut.

Proses training pada penelitian ini dilakukan dengan memanfaatkan pretrained models yang disediakan dari repository YOLOv7. Varian model yang akan digunakan yaitu varian YOLOv7 dan YOLOv7-X. Berdasarkan penjelasan dari repository YOLOv7, pretrained models yang disediakan merupakan hasil training menggunakan dataset COCO 2017 [5]. Perbedaan utama dari varian-varian

Tabel 3.

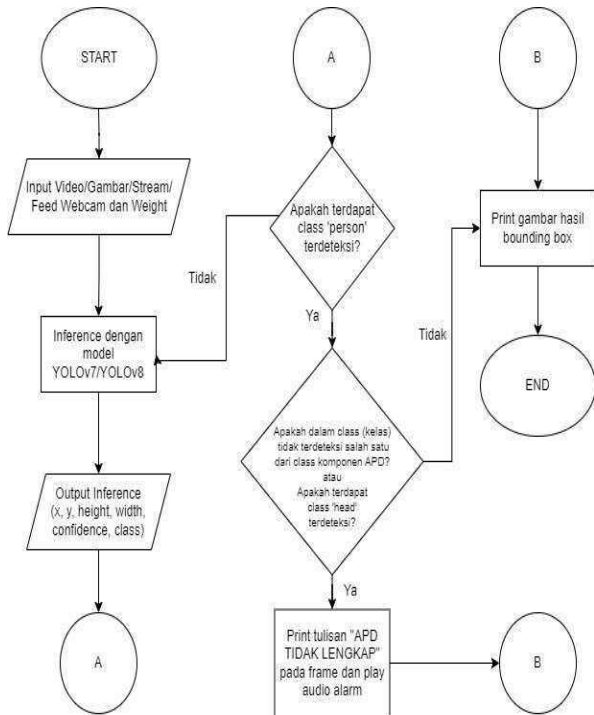
Konfigurasi Training menggunakan YOLOv7

Jenis Konfigurasi	Detail
<i>batch_size</i>	16
<i>epoch</i>	55
<i>imgsize</i>	640
<i>data</i>	Dataset Deteksi APD
<i>optimizer</i>	SGD
<i>device</i>	CUDA

Tabel 4.

Perbedaan Jumlah Parameter untuk Masing-Masing Varian *Pre-Trained Model YOLOv7*

Nama Varian	Jumlah Parameter
YOLOv7	36,9 Juta
YOLOv7-X	71,3 Juta



Gambar 6. Flowchart Sistem.

pretrained models tersebut berada pada jumlah parameternya dimana jumlah parameter memengaruhi kedalaman dan kompleksitas model [6].

Selanjutnya, proses testing akan melalui tiga tahap yaitu testing menggunakan testing set dari Dataset Deteksi APD, testing berdasarkan jarak, dan testing pada kondisi tidak ideal. Ketiga tahap tersebut akan memberikan gambaran lebih dalam mengenai performa setiap varian model YOLO yang telah dilatih dan akan ditentukan varian model mana yang memiliki performa terbaik untuk digunakan oleh sistem deteksi. Konfigurasi Training menggunakan YOLOv7 dapat dilihat pada Tabel 3 dan Perbedaan Jumlah Parameter untuk Masing-Masing Varian *Pre-Trained Model YOLOv7* dapat dilihat pada Tabel 4.

Sistem pendeteksi Alat Pelindung Diri (APD) ini akan memanfaatkan YOLOv7 untuk melakukan prediksi pada input data yang diterima. Input pada sistem ini berupa citra yang diterima dari webcam atau kamera yang terhubung ke komputer yang akan menjalankan sistem. Flowchart untuk sistem pendeteksi APD ini dapat dilihat pada Gambar 6.

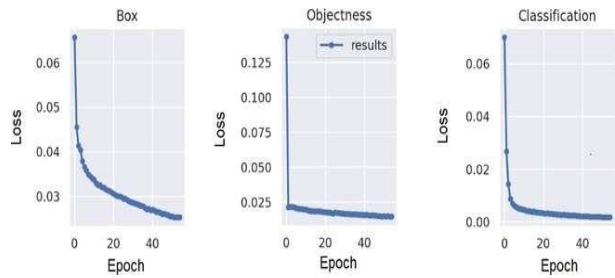
Sistem akan dibuat dalam bentuk file script python yang dapat dijalankan pada device komputer atau laptop. File script python "detect.py" dari repositori YOLOv7 dijadikan referensi dalam pembuatan script tersebut wang2022yolov7.



(a) Output Box

(b) Contoh Alarm

Gambar 7. Output Sistem.

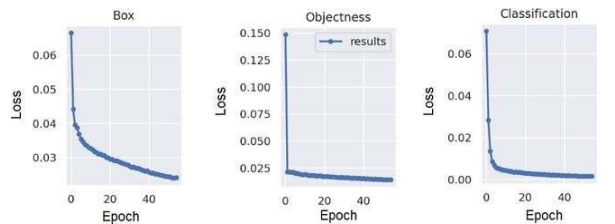


Gambar 8. Grafik *Box Loss*, *Objectness Loss*, dan *Classification Loss* Untuk Hasil Training YOLOv7.

Tabel 5.

Hasil *Validation YOLOv7* Untuk Semua Kelas

Weight Name	Class	Precision	Recall	mAP
YOLOv7	all	0.823	0.848	0.877
YOLOv7-X	all	0.87	0.825	0.888



Gambar 9. Grafik *Box Loss*, *Objectness Loss*, dan *Classification Loss* Untuk Hasil Training YOLOv7-X.

Sebelum dijalankan melalui terminal, sistem akan bisa menerima beberapa parameter input untuk menjalankan prediksi dengan model YOLOv7. Sistem membutuhkan minimal dua input yaitu input berupa bobot hasil training model dan input citra yang dapat berupa feed kamera dari webcam yang digunakan atau berupa file citra atau video maupun streaming dari CCTV. Tiap frame yang masuk dari input citra akan digunakan untuk proses inference melalui model YOLOv7. Hasil dari inference menggunakan YOLOv7 akan menghasilkan output berupa posisi untuk objek yang dideteksi yaitu x, y serta dimensi dari objeknya yaitu *width* (w) dan *height* (h) serta informasi nama kelas dan *confidence score* untuk tiap objek yang dideteksi. Hasil output *inference* yang didapat lalu digunakan untuk menggambar *bounding box* pada frame citra yang sedang diinference seperti pada Gambar 7.

Fungsi alarm akan terpicu setelah dalam frame yang sedang diinference terdeteksi objek dengan kelas *person* (orang) kemudian terdeteksi objek dengan kelas bernama *head* (kepala) atau jika tidak terdeteksi salah satu dari objek komponen APD. Fungsi alarm ini berisi perintah untuk memainkan *audio* alarm untuk mensimulasikan sirine

Tabel 6.

Hasil Testing *Weight* dari Training Menggunakan *Pretrained Weight*

YOLOv7						
Weight Name	Class	Precision	Recall	mAP	mAP 5:95	Inference Time (ms)
YOLOv7	all	0.865	0.82	0.877	0.5	4
YOLOv7-X		0.841	0.844	0.889	82	8
					0.5	5
					94	8

Tabel 7.

Hasil Testing YOLOv7 Berdasarkan Jarak Untuk Semua Kelas

Jarak	Class	Precision	Recall	mAP
1,5 Meter	all	0.815	0.77	0.831
3 Meter		0.779	0.833	0.912
4,5 Meter		0.806	0.801	0.947
6 Meter		0.794	0.71	0.824
7,5 Meter		0.985	0.625	0.745

Tabel 8.

Hasil Testing YOLOv7-X Berdasarkan Jarak Untuk Semua Kelas

Jarak	Class	Precision	Recall	mAP
1,5 Meter	all	0.725	0.783	0.844
3 Meter		0.793	0.809	0.892
4,5 Meter		0.742	0.8	0.887
6 Meter		0.717	0.699	0.815
7,5 Meter		0.641	0.724	0.767

Tabel 9.

Hasil Testing YOLOv7 Berdasarkan Jarak Untuk Kelas *glass* dan *glove*

Jarak	Class	Precision	Recall	mAP
1,5 Meter	glass	0.599	0.299	0.397
	glove	1	0.38	0.808
3 Meter	glass	0.796	0.4	0.607
	glove	1	0.425	0.961
4,5 Meter	glass	1	0.256	0.782
	glove	1	0.151	0.819
6 Meter	glass	0.999	0.111	0.38
	glove	1	0	0.366
7,5 Meter	glass	1	0	0
	glove	1	0	0.172

alarm. Selain menjalankan fungsi alarm, akan juga dijalankan perintah untuk menampilkan text “APD TIDAK LENGKAP” pada frame yang sedang di-*inference* seperti yang ditunjukkan pada Gambar 7.

IV. HASIL

A. Hasil Training dan Validation Model YOLOv7

Pada bagian ini akan dipaparkan metrik evaluasi antara tiap bobot yang dihasilkan dengan model *pretrained* YOLOv7. Proses *training* ini dilakukan menggunakan *resource* dari Google Colab.

1) Hasil Training YOLOv7

Berikut merupakan pemaparan dari hasil training untuk bobot yang dilatih menggunakan *pretrained weight* dari YOLOv7 dalam bentuk grafik *loss*. Training pada YOLOv7 ini menggunakan input *image size* 640x640, *batch size* sebesar 16, dan *epoch* berjumlah 55.

Dapat dilihat pada Gambar 8 penurunan nilai dari setiap jenis *loss* untuk hasil training dengan YOLOv7 dari *epoch* pertama sampai terakhir. Penurunan yang signifikan terjadi saat memasuki *epoch* kedua untuk ketiga jenis *loss* kemudian mengalami penurunan yang konsisten hingga *epoch* terakhir. Hal tersebut menunjukkan proses pembelajaran model yang berjalan dengan baik karena pada *epoch* terakhir, ketiga nilai *loss* mencapai angka yang kecil yaitu di bawah 0,026. Hasil



Gambar 10. Hasil Prediksi Pada Pengujian Performa Berdasarkan Jarak (YOLOv7 Pada Jarak 1,5 Meter).



Gambar 11. Hasil Prediksi Pada Kondisi Tidak Ideal (YOLOv7).

training untuk model YOLOv7 ini secara keseluruhan masih di bawah YOLOv7-X dengan selisih nilai *loss* yang kecil.

2) Hasil Training YOLOv7-X

Berikut merupakan pemaparan dari hasil training untuk bobot yang dilatih menggunakan *pretrained weight* dari YOLOv7-X dalam bentuk grafik *loss*. Training pada YOLOv7-X ini menggunakan input *image size* 640x640, *batch size* sebesar 16, dan *epoch* berjumlah 55.

Dapat dilihat pada Gambar 9 penurunan nilai dari setiap jenis *loss* untuk hasil training dengan YOLOv7-X dari *epoch* pertama sampai terakhir. Penurunan yang signifikan terjadi saat memasuki *epoch* kedua untuk ketiga jenis *loss* kemudian mengalami penurunan yang konsisten hingga *epoch* terakhir. Hal tersebut menunjukkan proses pembelajaran model yang berjalan dengan baik karena pada *epoch* terakhir, ketiga nilai *loss* mencapai angka yang kecil yaitu di bawah 0,025. Hasil *training* untuk model YOLOv7-X ini merupakan hasil terbaik dibanding varian lainnya.

3) Hasil Validation Untuk Semua Varian YOLOv7

Berikut merupakan pemaparan dari hasil *validation* untuk semua bobot yang dilatih menggunakan *pretrained weight* dari YOLOv7 yang dapat dilihat pada Tabel 5. Hasil validasi berikut ini merupakan validasi pada *epoch* terakhir

Tabel 10.

Hasil Testing *Weight* dari Training Menggunakan *Pretrained Weight* YOLOv7 Pada Kondisi Tidak Ideal Untuk Semua Kelas

Weight Name	Class	Precision	Recall	mAP
YOLOv7	all	0.799	0.677	0.784
YOLOv7-X		0.795	0.658	0.764

Tabel 11.

Hasil Pengujian Sistem Pada Perbedaan Jarak Tanpa Kelas "glass" dan "glove"

Jarak	TP	TN	FP	FN	Akurasi	Jumlah Sampel
1,5 Meter	46	42	0	0	100%	88
3 Meter	36	45	0	0	100%	81
4,5 Meter	36	45	6	0	93,1%	87
6 Meter	44	39	9	0	90,2%	92
7,5 Meter	34	42	4	0	95%	80

Tabel 12.

Hasil Pengujian Sistem Dalam Kondisi Tidak Ideal Tanpa Kelas *glass* dan *glove*

TP	TN	FP	FN	Akurasi
27	36	2	0	96,9%
63		2		65 sampel citra

yaitu epoch ke 55 dengan menggunakan *validation set* dari Dataset Deteksi APD. Hasil *validation* menunjukkan bahwa tidak ada perbedaan signifikan antar bobot untuk semua metrik evaluasinya. YOLOv7-X menunjukkan hasil terbaik sebagai bobot dengan parameter terbanyak dimana nilai mAP yang diperoleh sebesar 0,888. Sedangkan YOLOv7 menunjukkan hasil paling rendah dengan nilai mAP sebesar 0,877.

B. Hasil Testing YOLOv7 Menggunakan Testing Set Dataset Deteksi APD

Berikut merupakan pemaparan dari hasil testing untuk bobot yang dilatih menggunakan pretrained weight dari YOLOv7. Proses testing berikut ini menggunakan Testing Set dari Dataset Deteksi APD. Hasil testing untuk setiap bobot dapat dilihat pada Tabel 6.

Berdasarkan hasil testing, dapat disimpulkan bahwa YOLOv7 memiliki performa yang baik dalam hal precision dan mAP secara keseluruhan, dengan waktu inferensi yang lebih cepat.

C. Hasil Testing YOLOv7 Berdasarkan Jarak

Pada bagian ini akan memaparkan hasil deteksi pada citra pengujian yang dibagi menjadi beberapa variasi jarak dari kamera. Data citra pengujian yang digunakan meliputi

12 citra untuk masing-masing jarak yaitu 1,5 meter, 3 meter, 4,5 meter, 6 meter, dan 7,5 meter. Objek pada pengujian ini menggunakan APD secara lengkap namun hanya menggunakan helm berwarna kuning dan putih saja karena keterbatasan sumber daya peneliti. Contoh hasil prediksi pada pengujian ini dapat dilihat pada Gambar 10.

1. *Hasil Testing YOLOv7 Berdasarkan Jarak Untuk Semua Kelas*: Hasil testing untuk bobot YOLOv7 pada jarak 1,5 meter sampai 7,5 meter untuk semua kelas dapat dilihat pada Tabel 7.
2. *Hasil Testing YOLOv7-X Berdasarkan Jarak Untuk Semua Kelas*: Hasil testing untuk bobot YOLOv7-X pada jarak 1,5 meter sampai 7,5 meter untuk semua kelas dapat dilihat pada Tabel 8. Dapat disimpulkan bahwa baik YOLOv7 maupun YOLOv7-X memiliki kinerja yang baik dalam mendeteksi APD pada jarak yang berbeda-beda. Meskipun terjadi penurunan performa seiring dengan peningkatan jarak, kedua model ini tetap dapat

digunakan untuk mendeteksi APD pada jarak yang lebih jauh.

D. Hasil Testing YOLOv7 Berdasarkan Jarak Untuk Kelas *glass* dan *glove*

Pada Bagian ini akan membahas mengenai hasil *testing* YOLOv7 berdasarkan jarak untuk kelas *glass* dan *glove* yang memiliki nilai metrik paling kecil dibandingkan kelas lain. Hasil *testing* untuk bobot YOLOv7 pada jarak 1,5 meter sampai 7,5 meter untuk kelas *glass* dan *glove* dapat dilihat pada Tabel 9.

Nilai-nilai yang signifikan jauh lebih rendah tersebut untuk kelas *glass* dan *glove* jika dibandingkan dengan nilai hasil pengujian untuk kelas lainnya disebabkan oleh kelas *glass* pada Dataset Deteksi APD merupakan salah satu kelas yang *under-represented* yang berarti jumlah labelnya jauh lebih kecil jika dibandingkan dengan kelas lainnya meskipun Dataset Deteksi APD sudah dilakukan *preprocess* augmentasi gambar yang menambahkan variasi citra untuk setiap kelas termasuk *glass*. Kedua objek tersebut juga bisa menjadi tidak terlihat pada frame karena tertutup oleh badan pemakainya sendiri. Oleh karena itu, disarankan untuk memakai kacamata dengan frame lebih tebal dan tidak transparan serta membuka telapak tangan dengan lebar dan memperlihatkan kelima jari tangan dalam implementasi sistem untuk mendeteksi kacamata dan sarung tangan.

E. Hasil Testing YOLOv7 pada Kondisi Tidak Ideal

Pada bagian ini akan memaparkan hasil *testing* model pada citra yang diambil saat kondisi tidak ideal. Kondisi tidak ideal adalah kondisi saat pencahayaan rendah dan dalam keadaan hujan. Sampel citra yang dijadikan pengujian deteksi pada bagian ini berjumlah 48 citra tanpa variasi jarak. Contoh hasil prediksi pada *testing* ini dapat dilihat pada Gambar 11. Hasil *testing* untuk semua varian bobot pada kondisi tidak ideal untuk semua kelas dapat dilihat pada Tabel 10.

Dapat disimpulkan bahwa kondisi tidak ideal pada citra pengujian akan memengaruhi performa model. Meskipun begitu, semua model yang diuji secara keseluruhan tetap mampu melakukan deteksi APD pada kondisi yang tidak ideal dengan nilai yang cukup baik. Model YOLOv7 menunjukkan performa terbaik dengan nilai mAP tertinggi.

F. Hasil Implementasi Model Pada Sistem Pendeteksi Alat Pelindung Diri

Subbab ini akan memaparkan hasil dari dua jenis pengujian pada sistem pendeteksi APD. Flowchart sistem ini sudah dijelaskan pada Subbab III-E dan sudah dijelaskan juga bahwa sistem akan memicu alarm jika setelah terdeteksinya objek *person* (orang) kemudian terdeteksi objek *head* (kepala) atau tidak terdeteksinya salah satu dari objek komponen APD.

Pengujian ini dilakukan dengan mengambil beberapa sampel frame dari hasil rekaman objek pengujian pada 2 kondisi yaitu kondisi perbedaan jarak dan kondisi tidak ideal. Selain itu, semua pengambilan video rekaman dilakukan pada sudut 45 derajat yang mensimulasikan sudut CCTV. Pengujian ini berfokus kepada seberapa akurat sistem memicu alarm saat dibutuhkan, *positive* berarti alarm terpicu dan *negative* berarti alarm tidak aktif. Pengujian sistem dijalankan menggunakan laptop peneliti dimana semua proses *inference* berjalan dengan *Frame Per Second* (FPS) yang

berkisar sebesar 1 hingga 2 FPS. Pada pengujian ini juga akan digunakan varian model YOLOv7 yang secara keseluruhan mendapat hasil terbaik pada semua tahap *testing*.

Selain itu, merujuk pada Subbab IV-D yang membahas hasil *testing* model pada kelas *glass* dan *glove* yang bernilai sangat rendah, pengambilan data citra pada pengujian ini menempatkan objek yang ideal dimana objek menggunakan kacamata dengan *frame* lebih tebal dan tidak transparan serta membuka telapak tangan dengan lebar. Namun, hal tersebut tidak membantu dalam mendeteksi kacamata dan sarung tangan.

G. Pengujian Sistem Pada Perbedaan Jarak Tanpa Kelas *glass* dan *glove*

Pada percobaan ini, kelas *glass* dan *glove* akan dihiraukan dalam proses prediksi untuk memicu alarm. Hasil dari masing-masing varian jarak ditunjukkan pada Tabel 11.

Dapat disimpulkan bahwa sistem pendeteksi Alat Pelindung Diri dapat melakukan deteksi pada perbedaan jarak dari 1,5 meter hingga 7,5 meter dengan baik jika objek komponen APD kacamata dan sarung tangan dihiraukan pada proses deteksi. Namun, jika objek kacamata dan sarung tangan termasuk dalam proses deteksi, sistem pendeteksi akan menunjukkan performa yang sangat rendah.

H. Pengujian Sistem Dalam Kondisi Tidak Ideal Tanpa Kelas *glass* dan *glove*

Pada percobaan ini, kelas *glass* dan *glove* akan dihiraukan dalam proses prediksi untuk memicu alarm. Hasil dari pengujian ini ditunjukkan pada Tabel 12. Dapat dilihat pada Tabel 12, setelah sistem menghiraukan kelas *glass* dan *glove* pada proses deteksi, nilai akurasi meningkat secara signifikan dengan nilai 96,9%. Hal ini menunjukkan bahwa sistem sangat terhambat dalam mendeteksi kelas *glass* dan *glove*.

Dapat disimpulkan bahwa sistem pendeteksi Alat Pelindung Diri dapat melakukan deteksi pada kondisi tidak ideal dengan baik jika objek komponen APD kacamata dan sarung tangan dihiraukan pada proses deteksi. Namun, jika objek kacamata dan sarung tangan termasuk dalam proses

deteksi, sistem pendeteksi akan menunjukkan performa yang sangat rendah.

V. KESIMPULAN

Berdasarkan penelitian ini, terdapat beberapa kesimpulan yang dapat diambil yaitu;(1)Berdasarkan seluruh pengujian, varian YOLOv7 menjadi pilihan yang optimal untuk deteksi APD yang kemudian digunakan untuk semua percobaan pada pengujian sistem. Hasil *testing* menggunakan *testing set*, pengujian berdasarkan perbedaan jarak, pengujian pada kondisi tidak ideal, dan pengujian pada kondisi keramaian secara berurutan memiliki mAP bernilai 0.877, 0.93, 0.784, dan 0,856.:(2)Merujuk pada regulasi yang mengatur tentang APD, fitur deteksi pada sistem yang telah dikembangkan telah memenuhi ketentuan APD yang telah diatur pada undang-undang tersebut. Namun, akurasi sistem dalam mendeteksi objek kacamata dan sarung tangan masih kurang memenuhi ketentuan dalam memberikan pengawasan dan peringatan pada penggunaan APD.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Menteri Ketenagakerjaan, Peraturan Menteri Tenaga Kerja dan Transmigrasi Republik Indonesia Tentang Alat Pelindung Diri, No. PER.08/MEN/VII/2010. Jakarta: Kementerian Ketenagakerjaan Indonesia, 2010.
- [2] M. Masrully, "Menakar implementasi kebijakan keselamatan dan kesehatan kerja di Indonesia," *Jurnal Wacana Kinerja: Kajian Praktis-Akademis Kinerja dan Administrasi Pelayanan Publik*, vol. 22, no. 1, p. 17, Jul. 2019, doi: 10.31845/jwk.v22i1.141.
- [3] Y. Kang, S. Siddiqui, S. J. Suk, S. Chi, and C. Kim, "Trends of fall accidents in the U.S. construction industry," *J Constr Eng Manag*, vol. 143, no. 8, Aug. 2017, doi: 10.1061/(asce)co.1943-7862.0001332.
- [4] M. Ferdous and S. M. M. Ahsan, "PPE detector: A YOLO-based architecture to detect personal protective equipment (PPE) for construction sites," *PeerJ Comput Sci*, vol. 8, pp. 1–24, 2022, doi: 10.7717/peerj-cs.999.
- [5] C.-Y. Wang, A. Bochkovskiy, and H.-Y. M. Liao, "YOLOv7: Trainable Bag-Of-Freebies Sets New State-Of-The-Art For Real-Time Object Detectors," in *Proceedings of the IEEE/CVF Conference on Computer Vision and Pattern Recognition*, Jul. 2022, pp. 1–15. [Online]. Available: <http://arxiv.org/abs/2207.02696>
- [6] Y. B. and A. C. I. Goodfellow, *Deep Learning*. Cambridge: Massachusetts Institute of Technology Press, 2016.