

Mengintegrasikan Metode *YOLO* (*You Only Look Once*) Dalam Deteksi APD (Alat Pelindung Diri) Pada Industri Migas

Zacky Syifa Juanda¹, Zulfan Khairil Simbolon^{2*}, Huzaeni³

^{1,2,3}Jurusan Teknologi Informasi dan Komputer Politeknik Negeri Lhokseumawe
Jl. Banda Aceh-Medan Km.280 Buketrata 24301 INDONESIA

¹zacky.shifajuanda@gmail.com

^{2*}zulfan69@gmail.com (penulis korespondensi)

³huzaeni@pnl.ac.id

Abstrak— Penelitian ini dilakukan untuk mengembangkan sistem pemantauan otomatis penggunaan Alat Pelindung Diri (APD) di industri minyak dan gas (migas), di mana keselamatan pekerja menjadi prioritas utama. Industri migas memiliki risiko tinggi terhadap kecelakaan kerja, seperti kebakaran, ledakan, dan paparan bahan kimia berbahaya. Pengawasan manual seringkali kurang efektif dan sulit diterapkan secara konsisten dalam lingkungan kerja yang dinamis. Untuk mengatasi masalah ini, penelitian ini menggunakan metode deteksi objek *You Only Look Once* (*YOLO*), yang dikenal karena kemampuannya mendeteksi objek secara *real-time* dengan tingkat akurasi tinggi. Penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan model deteksi APD menggunakan *YOLO* dan mengimplementasikannya dalam lingkungan industri migas di PT Bina Martha Artha (BMA). Metode penelitian melibatkan pengumpulan data melalui studi literatur, studi dokumen, dan wawancara. Dataset foto APD dibuat secara mandiri dan dilabeli untuk melatih model deteksi. Model diuji menggunakan metrik *mAP* (*mean Average Precision*) 50-95(B), yang menunjukkan akurasi tertinggi sebesar 89.71% pada *epoch* ke-49. Hasil penelitian menunjukkan bahwa model *YOLO* mampu mendeteksi kelengkapan APD dengan tingkat akurasi yang memadai. Sistem ini berpotensi meningkatkan efisiensi pengawasan, mengurangi risiko kecelakaan kerja, dan memastikan kepatuhan pekerja terhadap standar keselamatan di industri migas. Dengan sistem ini, perusahaan dapat lebih cepat mendeteksi pelanggaran dan mengambil tindakan yang diperlukan untuk menjaga keselamatan pekerja.

Kata kunci: Deteksi APD, *YOLO*, Keselamatan kerja.

Abstract— This research was conducted to develop an automatic monitoring system for the use of Personal Protective Equipment (PPE) in the oil and gas (oil and gas) industry, where worker safety is a top priority. The oil and gas industry has a high risk of work accidents, such as fires, explosions and exposure to dangerous chemicals. Manual controls are often less effective and difficult to apply consistently in a dynamic work environment. To overcome this problem, this research uses the You Only Look Once (*YOLO*) object detection method, which is known for its ability to detect objects in real-time with a high level of accuracy. This research aims to develop a PPE detection model using *YOLO* and implement it in the oil and gas industry environment at PT Bina Martha Artha (BMA). The research method involves collecting data through literature study, document study, and interviews. The PPE photo dataset was created independently and labeled to train the detection model. The model was tested using the *mAP* (*mean Average Precision*) 50-95(B) metric, which showed the highest accuracy of 89.71% at the 49th epoch. The research results show that the *YOLO* model is able to detect completeness of PPE with an adequate level of accuracy. This system has the potential to increase monitoring efficiency, reduce the risk of work accidents, and ensure worker compliance with safety standards in the oil and gas industry. With this system, companies can more quickly detect violations and take necessary actions to maintain worker safety.

Keywords : *PPE Detection, YOLO, Work Safety.*

I. PENDAHULUAN

Di industri minyak dan gas, keselamatan pekerja adalah prioritas utama untuk menjaga keberlanjutan operasi, dan penggunaan Alat Pelindung Diri (APD) sangat penting untuk melindungi pekerja dari berbagai risiko bahaya seperti kebakaran, racun kimia, dan kecelakaan lainnya. Meskipun demikian, pengawasan dan pemantauan penggunaan APD secara manual sering kali menghadapi tantangan, terutama dalam lingkungan kerja yang dinamis dan berbahaya. APD mencakup semua pakaian dan aksesoris yang dirancang untuk mencegah bahaya di tempat kerja [1]. APD adalah alat yang digunakan oleh tenaga kerja untuk melindungi seluruh tubuhnya dari potensi bahaya kecelakaan kerja atau penyakit

yang disebabkan oleh lingkungan kerja mereka [2]. Bahaya di tempat kerja dapat menyebabkan cedera serius, penyakit, atau bahkan kematian jika tidak dikelola dengan baik. Kecelakaan kerja adalah kejadian yang tidak diinginkan dan tak terduga yang dapat menyebabkan banyak kerugian, baik di dalam maupun di luar lingkungan tempat kerja [3].

Melihat dari bahaya dan kerugian yang ditimbulkan oleh kecelakaan di tempat kerja, APD digunakan untuk melindungi bagian dan seluruh tubuh pekerja dari potensi bahaya yang ada di lingkungan kerja yang dapat menyebabkan kecelakaan dan penyakit akibat kerja. APD tidak sepenuhnya melindungi tubuh dari semua bahaya, tetapi dapat mengurangi kemungkinan terjadinya kecelakaan dan penyakit akibat kerja [4].

Industri hulu migas memiliki skala besar dan mencakup berbagai aktivitas, termasuk eksplorasi sumber daya minyak dan gas bumi yang telah dieksploitasi [5]. Sektor pertambangan, terutama pertambangan minyak dan gas bumi, memiliki risiko yang tinggi. Ini disebabkan oleh banyaknya kecelakaan seperti kebakaran, peledakan, dan pencemaran lingkungan, yang menyebabkan industri migas memiliki risiko tinggi terhadap kecelakaan kerja [6].

Penggunaan teknologi deteksi otomatis seperti *You Only Look Once (YOLO)* merupakan solusi efektif untuk pemantauan penggunaan Alat Pelindung Diri (APD) di industri migas, karena dapat mendeteksi objek secara real-time dengan akurasi tinggi. Integrasi *YOLO* diharapkan dapat meningkatkan efisiensi pemantauan, mengurangi keterlambatan tanggap terhadap keadaan darurat, dan meningkatkan keselamatan pekerja. Selain itu, pengolahan citra, sebagai langkah awal dalam *computer vision*, bertujuan meniru persepsi visual manusia melalui pengumpulan, pemrosesan, dan interpretasi gambar. *Computer vision* meliputi aktivitas memperoleh gambar digital, memprosesnya dengan teknik komputasi, dan menganalisis hasilnya untuk mendapatkan informasi berguna, yang penting untuk pengendalian peralatan dan pengawasan proses manufaktur [7].

Deep learning, cabang machine learning berbasis Jaringan Saraf Tiruan (JST), memungkinkan komputer langsung mengklasifikasi gambar atau suara. *Convolutional Neural Network (CNN)*, algoritma yang dikembangkan dari *Multilayer Perceptron (MPL)*, mengolah data dua dimensi dan memudahkan pemrograman dengan belajar langsung dari gambar. Selain *CPU* dan *RAM*, deep learning memanfaatkan *GPU* untuk mempercepat komputasi data besar [8].

Studi kasus ini dilakukan di PT. Bina Martha Artha (BMA), di mana ditemukan bahwa karyawan sering tidak mengenakan Alat Pelindung Diri (APD) dengan lengkap, menunjukkan pentingnya pemahaman dan kepatuhan terhadap penggunaan APD. Untuk mengatasi masalah ini, metode *You Only Look Once (YOLO)* akan digunakan untuk mendeteksi kelengkapan APD sesuai ketentuan perusahaan. *YOLO* menawarkan kecepatan yang jauh lebih tinggi dibandingkan sistem *Region Convolutional Neural Network (R-CNN)*, yang memerlukan ribuan gambar untuk pelatihan, serta dapat melakukan prediksi dengan lebih efisien melalui sintesis jaringan saraf, berbeda dengan sistem yang berorientasi pada *classifier* [9].

Penelitian ini bertujuan mengembangkan dan menguji model deteksi Alat Pelindung Diri (APD) menggunakan metode *YOLO* serta menerapkannya di lingkungan industri migas. Dengan teknologi ini, diharapkan dapat meningkatkan standar keselamatan kerja, mengoptimalkan penggunaan APD, dan mengurangi risiko kecelakaan di tempat kerja. Implementasi sistem ini akan membantu perusahaan memastikan kepatuhan terhadap standar keselamatan, mengurangi potensi kecelakaan, serta meningkatkan efisiensi operasional melalui pengawasan yang lebih baik dan penanganan pelanggaran yang cepat.

II. METODOLOGI PENELITIAN

A. Tempat Penelitian

Penelitian "Mengintegrasikan Metode *YOLO* dalam Deteksi APD pada Industri Migas" mengumpulkan data primer dari lingkungan industri migas untuk memastikan dataset yang digunakan mencerminkan kondisi lapangan. Data dikumpulkan di PT Bina Martha Artha (BMA), yang dipilih karena memiliki standar keselamatan tinggi dan kebijakan penggunaan APD yang ketat. Lingkungan kerja PT BMA yang mematuhi standar keselamatan serta variasi penggunaan APD yang representatif mendukung tujuan penelitian dalam melatih model *YOLO* untuk deteksi APD secara akurat dan andal. Selain itu, pengumpulan data ini bertujuan untuk menghasilkan model yang dapat diimplementasikan secara praktis di industri, sehingga meningkatkan keselamatan kerja. Data yang dikumpulkan akan dianalisis untuk mengoptimalkan efektivitas deteksi APD di lingkungan kerja.

B. Jumlah Dataset

Dalam pengembangan model pembelajaran mesin, jumlah dataset adalah faktor kunci yang mempengaruhi kinerja dan akurasi model. Proyek ini menggunakan 100 gambar sebagai data dasar untuk pelatihan, pengujian, dan validasi model, di mana penentuan jumlah dataset yang tepat sangat penting untuk mencegah *overfitting* dan memastikan generalisasi yang baik pada data baru. Dengan dataset yang cukup, model diharapkan dapat mengenali pola dan fitur relevan, serta melakukan pelatihan yang efektif. Analisis distribusi data dan efektivitas jumlah dataset juga penting dalam evaluasi kinerja model yang dilatih.

C. Data Training

Data training adalah komponen penting dalam pengembangan model pembelajaran mesin, berfungsi sebagai sumber utama informasi untuk melatih model. Dalam proyek ini, 70% dari total 100 gambar dialokasikan untuk data training, setara dengan 70 gambar, memungkinkan model belajar dari variasi dalam dataset dan memperkaya pengalaman pelatihan. Dengan lebih banyak data, model dapat memahami kompleksitas dan nuansa data yang ada, serta mengoptimalkan parameter untuk meminimalisir kesalahan prediksi. Alokasi data yang cukup besar juga mengurangi risiko *overfitting*, sehingga pembagian 70% untuk data training menjadi strategi yang tepat untuk membangun model yang *robust* dan handal.

D. Data Testing

Data testing berfungsi untuk mengevaluasi kinerja model setelah pelatihan, dengan 20% dari total 100 gambar, setara dengan 20 gambar, dialokasikan untuk tujuan ini. Data *testing* digunakan untuk mengukur kemampuan model dalam menerapkan pengetahuan dari data training ke situasi nyata, serta menilai kemampuan generalisasi model, yang merupakan tujuan utama dalam pengembangan pembelajaran mesin. Pentingnya data testing terletak pada kemampuannya memberikan umpan balik mengenai efektivitas model, performa yang baik menunjukkan bahwa model telah belajar

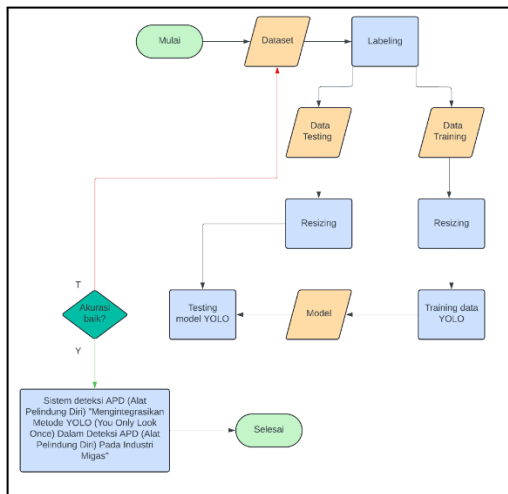
dengan baik dan dapat mengenali pola dalam data baru, sedangkan performa rendah menandakan perlunya evaluasi kembali terhadap metode pelatihan, parameter, atau data input.

E. Data Validation

Data validation berperan penting dalam pengembangan model dengan memastikan bahwa model tidak hanya efektif pada data pelatihan, tetapi juga mampu beradaptasi dengan data yang tidak terlihat sebelumnya. Dalam proyek ini, 10% dari total 100 gambar, setara dengan 10 gambar, dialokasikan untuk data validation, yang berfungsi sebagai benchmark untuk mengevaluasi performa model secara berkelanjutan. Proses validasi melibatkan pengujian berulang untuk mengoptimalkan parameter model dan menghindari overfitting. Dengan data validation, pengembang dapat melakukan penyesuaian berdasarkan hasil yang diperoleh, menghasilkan model yang lebih akurat dan handal. Oleh karena itu, alokasi 10% untuk data validation merupakan komponen krusial dalam menciptakan model pembelajaran mesin yang efektif dan efisien.

F. Perancangan Model

Gambar 1 menunjukkan flowchart proses pembuatan model metode YOLO (You Only Look Once), YOLO adalah algoritma yang mendeteksi objek dengan membagi citra menjadi beberapa grid. Keluaran dari feature map YOLO menghasilkan bbox, skor objektif, dan skor kelas. YOLO adalah salah satu metode deteksi objek yang mempunyai kinerja baik dan akurasi tinggi [10]. YOLO adalah teknik pengenalan objek yang didasarkan pada Convolutional Neural Network (CNN) [10].



Gambar 1. Flowchart Pembuatan Model

Proses pengembangan sistem deteksi APD yang mengintegrasikan metode YOLO dimulai dengan persiapan dataset yang mencakup pengumpulan dan pelabelan data. Data tersebut kemudian dibagi menjadi data pelatihan dan pengujian, di mana keduanya diubah ukurannya sesuai dengan input yang dibutuhkan oleh YOLO. Model YOLO dilatih menggunakan data pelatihan, kemudian diuji dengan data

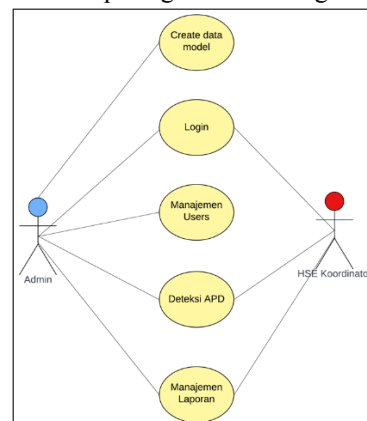
pengujian. Akurasi model dievaluasi, dan jika belum memadai, proses pelatihan diulang hingga mencapai akurasi yang diinginkan. Setelah model mencapai akurasi yang baik, sistem deteksi APD siap digunakan di industri migas, menandai selesainya proses pengembangan.

- 1) *Pre-processing* : Proses *preprocessing* dalam sistem deteksi APD berbasis YOLO dimulai dengan pengumpulan dataset yang relevan, diikuti oleh anotasi manual untuk memberi *bounding box* dan label pada objek APD seperti helm, masker, pakaian pelindung, dan sepatu boots. Anotasi ini penting untuk memastikan data berkualitas tinggi bagi pelatihan model. Setelah itu, data dikonversi ke format yang sesuai dengan YOLO dan diorganisasi dalam struktur folder sistematis, kemudian dibagi menjadi data pelatihan, validasi, dan uji. Sebelum digunakan, gambar mengalami transformasi seperti perubahan ukuran dan normalisasi nilai piksel agar sesuai dengan spesifikasi model. Model YOLO kemudian dilatih untuk mengenali APD, diuji menggunakan dataset uji, dan jika hasilnya memuaskan, model diintegrasikan ke sistem deteksi real-time untuk mendeteksi pelanggaran APD dari gambar kamera dan menyimpan hasil deteksi untuk analisis lebih lanjut, mendukung keselamatan kerja di lingkungan industri migas.

G. Perancangan Sistem

Perancangan sistem meliputi perancangan Use Case Diagram, rancangan sistem dilakukan untuk memberikan ilustrasi/gambaran dari proses pengerjaan Mengintegrasikan Metode YOLO (You Only Look Once) Dalam Deteksi APD (Alat Pelindung Diri) Pada Industri Migas.

- 1) *Use Case Diagram* Sistem Deteksi APD Menggunakan YOLO : Ada dua user dalam perancangan sistem pada penelitian ini: Admin, dan HSE Koordinator, desain users dalam penelitian diilustrasikan pada gambar 2 sebagai berikut.

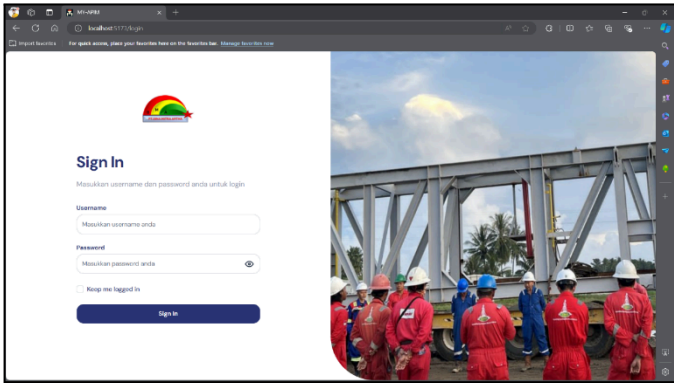


Gambar 2. Use Case Diagram

H. Perancangan Basis Data

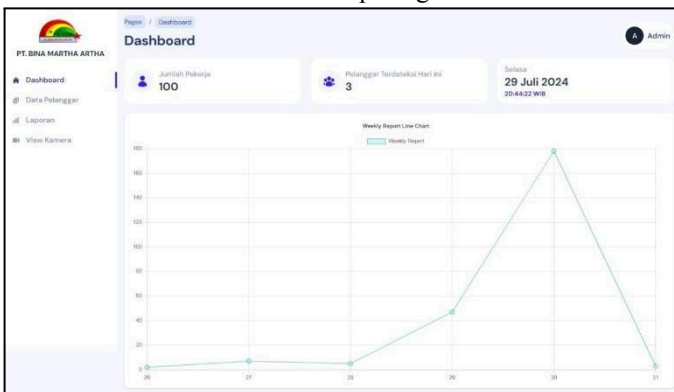
Sistem deteksi penggunaan Alat Pelindung Diri (APD) di industri migas menggunakan metode YOLO (You Only Look

Ikon mata di samping *password* memungkinkan pengguna untuk melihat atau menyembunyikan *password*, dan *checkbox "Keep me logged in"* memberikan opsi untuk tetap terautentikasi. Gambar pekerja menggunakan APD di sisi kanan menambah konteks keselamatan kerja. Tombol "*Sign In*" mengirim data *login* untuk diverifikasi, mengarahkan ke halaman utama jika valid, atau memberikan notifikasi error jika tidak, implementasi halaman *sign in* bisa dilihat pada Gambar 6 dibawah ini.



Gambar 6. Halaman *Sign In*

- b) Halaman *Dashboard* : Halaman *dashboard* berfungsi sebagai pusat informasi untuk memantau aktivitas dan data deteksi APD di PT. Bina Martha Artha. Pengguna dapat melihat ringkasan penting, seperti total pekerja dan pelanggaran terdeteksi hari ini. *Dashboard* dilengkapi dengan *card* dan *line chart* untuk memudahkan pemahaman kondisi terkini. Selain itu, terdapat *line chart* untuk menganalisis tren pelanggaran APD mingguan, membantu manajemen dalam mengambil tindakan pencegahan, halaman *dashboard* ada pada gambar 7.



Gambar 7. Halaman *Dashboard*

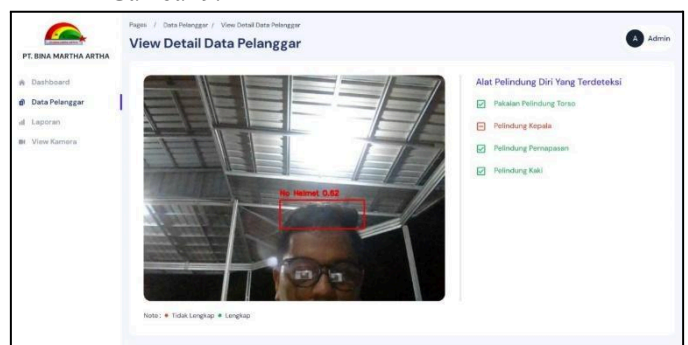
- c) Halaman *Data Pelanggar* : Halaman *Data Pelanggar* menyajikan informasi detail tentang pelanggaran penggunaan Alat Pelindung Diri (APD) di PT. Bina Martha Artha. Pengguna dapat melihat daftar pelanggaran lengkap, memfilter data berdasarkan bulan dan tahun, serta menggunakan fitur pencarian

untuk mencari pelanggaran tertentu. Setiap tabel dilengkapi tombol "*Cek Detail*" untuk informasi lebih lanjut. Halaman detail menampilkan jenis pelanggaran dan bukti berupa foto, memudahkan pemantauan dan penanganan pelanggaran, halaman *Data Pelanggar* dapat dilihat pada Gambar 8.

NO	WAKTU PELANGGARAN	ACTION
1	Selisa, 29 Juli 2024 20:00:27	Cek Detail
2	Selisa, 29 Juli 2024 20:00:25	Cek Detail
3	Selisa, 29 Juli 2024 20:00:20	Cek Detail
4	Sabtu, 27 Juli 2024 20:09:37	Cek Detail
5	Sabtu, 27 Juli 2024 20:09:37	Cek Detail
6	Sabtu, 27 Juli 2024 20:09:36	Cek Detail
7	Sabtu, 27 Juli 2024 20:09:36	Cek Detail
8	Sabtu, 27 Juli 2024 20:09:36	Cek Detail
9	Sabtu, 27 Juli 2024 20:09:35	Cek Detail
10	Sabtu, 27 Juli 2024 20:09:35	Cek Detail

Gambar 8. Halaman *Data Pelanggar*

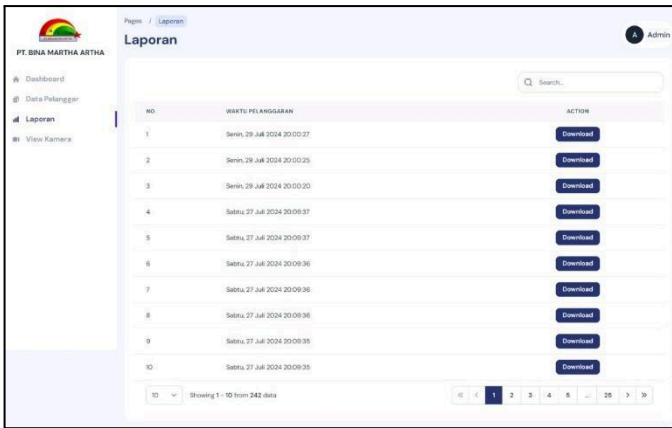
- d) Halaman *View Detail Data Pelanggar* : Halaman *View Detail Data Pelanggar* menyajikan informasi lengkap mengenai pelanggaran penggunaan alat pelindung diri (APD) oleh pekerja, termasuk foto pelanggar dan daftar jenis APD terdeteksi. APD ditandai dengan warna hijau untuk yang lengkap dan merah untuk yang melanggar, memudahkan identifikasi. Foto juga dilengkapi label deteksi yang menunjukkan bagian tubuh yang tidak dilindungi, seperti "*No Helmet*," dan tingkat kepercayaan deteksi. Hal ini membantu HSE Koordinator mengambil langkah perbaikan untuk memastikan kepatuhan terhadap aturan keselamatan kerja, halaman *View Detail Pelanggar* bisa dilihat pada Gambar 9.



Gambar 9. Halaman *View Detail Data Pelanggar*

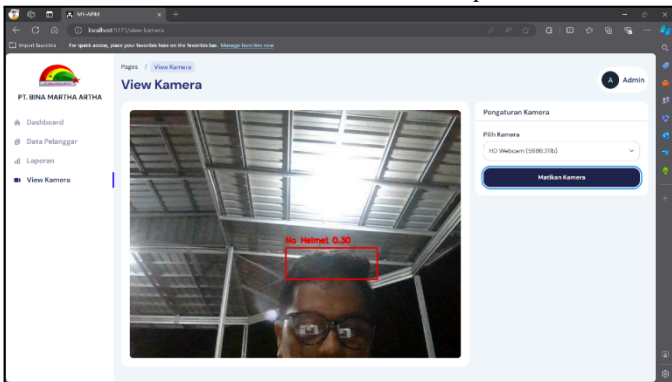
- e) Halaman *Laporan* : Halaman *Laporan* memudahkan pengguna mengakses dan mengunduh laporan pelanggaran alat pelindung diri (APD). Setiap entri pelanggaran ditampilkan dalam daftar dengan nomor urut, waktu pelanggaran, dan tombol unduh. Pengguna dapat mengunduh laporan *Excel* dengan

tombol "Download" dan menggunakan fitur pencarian serta filter untuk menyaring laporan berdasarkan bulan dan tahun. Fitur ini mendukung analisis tren dan pola pelanggaran dari waktu ke waktu, halaman Laporan dapat dilihat pada Gambar 10 dibawah ini.



Gambar 10. Halaman Laporan

- f) Halaman *View Kamera* : Halaman "View Kamera" memungkinkan pengguna memantau aktivitas melalui video *streaming* langsung dengan memilih kamera dari dropdown menu. Setelah menghidupkan kamera, *live feed* ditampilkan di layar, dan sistem mendeteksi penggunaan alat pelindung diri (APD), menandai pelanggaran dengan kotak merah dan label "No Helmet" Tombol "Matikan Kamera" tersedia untuk menghentikan pemantauan. Fitur ini memudahkan pengawasan dan menyediakan data untuk tindakan lanjutan jika ada pelanggaran, halaman *View Kamera* bisa dilihat pada Gambar 11.

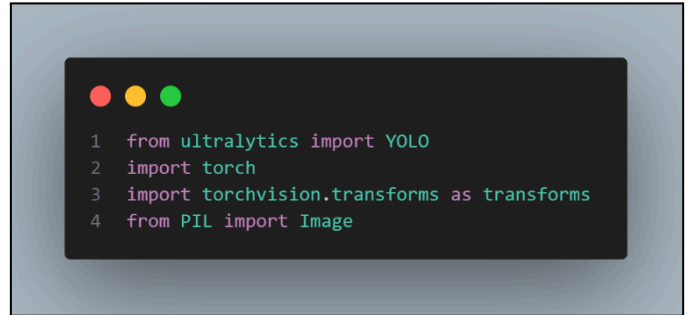


Gambar 11. Halaman View Kamera

E. Implementasi Metode *YOLO (You Only Look Once)*

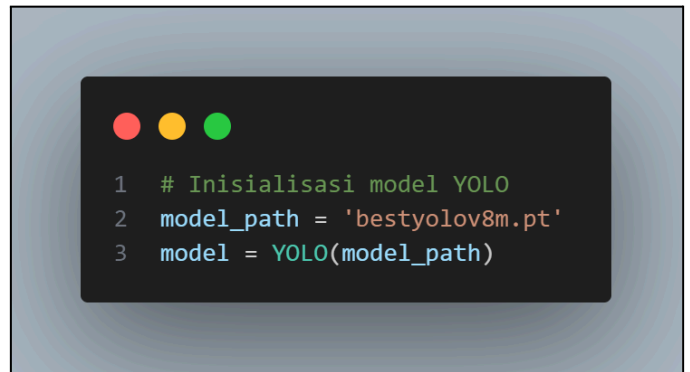
- a) Import Modul Yang Berhubungan Dengan *YOLO* : Proses ini melibatkan impor modul penting untuk implementasi *YOLO (You Only Look Once)*. Modul *ultralytics* menyediakan kelas *YOLO* untuk deteksi objek, sementara *torch* dari *PyTorch* menawarkan alat pemrosesan *tensor* dan pelatihan model. Modul *transforms* dari *torchvision* digunakan untuk mengubah gambar menjadi *tensor*, dan *PIL (Pillow)*

untuk manipulasi gambar. Integrasi keempat modul ini merupakan langkah awal dalam membangun aplikasi deteksi objek berbasis *YOLO* yang efisien, berikut *import* modul yang digunakan ada pada Gambar 12.



Gambar 12. Import Modul Yang Berhubungan Dengan *YOLO*

- b) Inisialisasi Model *YOLO* : Proses ini adalah inisialisasi model *YOLO (You Only Look Once)* dalam kode *Python* dengan menetapkan jalur file model terlatih dalam variabel *model_path*. Model kemudian diinisialisasi menggunakan fungsi *YOLO*, dan hasilnya disimpan dalam variabel "model". Inisialisasi ini penting untuk memanfaatkan kemampuan deteksi objek *real-time* dari *YOLO* dalam aplikasi. Gambar 13 menunjukkan proses inisialisasi model *YOLO*.



Gambar 13. Inisialisasi Model *YOLO*

- F. Perhitungan Metode *YOLO* dengan setiap APD Satu sel memprediksi bounding box berikut:

- a) *No Mask*:
Bounding box 1: ($x_1 = 0.5, y_1 = 0.5, w_1 = 0.3, h_1 = 0.4, confidence_1 = 0.9$)
 Pusat *bounding box* dalam gambar: ($x_1 \times 64 + 64 \times 3, y_1 \times 64 + 64 \times 2$) = ($0.5 \times 64 + 192, 0.5 \times 64 + 128$) = ($224, 160$)
 Lebar dan tinggi *bounding box*: ($w_1 \times 448, h_1 \times 448$) = ($0.3 \times 448, 0.4 \times 448$) = ($134.4, 179.2$)
- b) *No Vest* :
Bounding box 2: ($x_2 = 0.6, y_2 = 0.4, w_2 = 0.2, h_2 = 0.3, confidence_2 = 0.75$)
 Pusat *bounding box* dalam gambar: ($x_2 \times 64 + 64 \times 3, y_2 \times 64 + 64 \times 2$) = ($0.6 \times 64 + 192, 0.4 \times 64 + 128$)

$$= (230.4, 153.6)$$

Lebar dan tinggi *bounding box*: ($w_2 \times 448, h_2 \times 448$)
 $= (0.2 \times 448, 0.3 \times 448) = (89.6, 134.4)$

c) *No Helmet* :

Bounding box 3: ($x_1 = 0.5, y_1 = 0.5, w_1 = 0.4, h_1 = 0.5, confidence_1 = 0.85$)

Pusat *bounding box* dalam gambar: ($x_1 \times 64 + 64 \times 4, y_1 \times 64 + 64 \times 3$) = ($0.5 \times 64 + 256, 0.5 \times 64 + 192$)
 $= (288, 224)$

Lebar dan tinggi *bounding box*: ($w_1 \times 448, h_1 \times 448$)
 $= (0.4 \times 448, 0.5 \times 448) = (179.2, 224)$

d) *No Boots* :

Bounding box 4: ($x_2 = 0.4, y_2 = 0.4, w_2 = 0.3, h_2 = 0.3, confidence_2 = 0.80$)

Pusat *bounding box* dalam gambar: ($x_1 \times 64 + 64 \times 4, y_1 \times 64 + 64 \times 3$) = ($0.5 \times 64 + 256, 0.5 \times 64 + 192$)
 $= (288, 244)$

Lebar dan tinggi *bounding box*: ($w_1 \times 448, h_1 \times 448$)
 $= (0.4 \times 448, 0.5 \times 448) = (179.2, 224)$

e) *Masker* :

Bounding box 5: ($x_1 = 0.5, y_1 = 0.5, w_1 = 0.3, h_1 = 0.4, confidence_1 = 0.92$)

Pusat *bounding box* dalam gambar: ($x_1 \times 64 + 64 \times 1, y_1 \times 64 + 64 \times 1$) = ($0.5 \times 64 + 64, 0.5 \times 64 + 64$) = (96, 96)

Lebar dan tinggi *bounding box*: ($w_1 \times 448, h_1 \times 448$)
 $= (0.3 \times 448, 0.4 \times 448) = (134.4, 179.2)$

f) *Pakaian Pelindung Torso*

Bounding box 6: ($x_2 = 0.6, y_2 = 0.6, w_2 = 0.4, h_2 = 0.5, confidence_2 = 0.88$)

Pusat *bounding box* dalam gambar: ($x_2 \times 64 + 64 \times 4, y_2 \times 64 + 64 \times 4$) = ($0.6 \times 64 + 256, 0.6 \times 64 + 256$) = (294.4, 294.4)

Lebar dan tinggi *bounding box*: ($w_1 \times 448, h_1 \times 448$)
 $= (0.2 \times 448, 0.3 \times 448) = (89.6, 134.4)$

g) *Sepatu Boots*

Bounding box 7: ($x_1 = 0.5, y_1 = 0.5, w_1 = 0.2, h_1 = 0.3, confidence_1 = 0.90$)

Pusat *bounding box* dalam gambar: ($x_1 \times 64 + 64 \times 5, y_1 \times 64 + 64 \times 5$) = ($0.5 \times 64 + 320, 0.5 \times 64 + 320$) = (352, 352)

Lebar dan tinggi *bounding box*: ($w_1 \times 448, h_1 \times 448$)
 $= (0.2 \times 448, 0.3 \times 448) = (89.6, 134.4)$

h) *Helm*

Bounding box 8: ($x_2 = 0.6, y_2 = 0.6, w_2 = 0.2, h_2 = 0.2, confidence_2 = 0.87$)

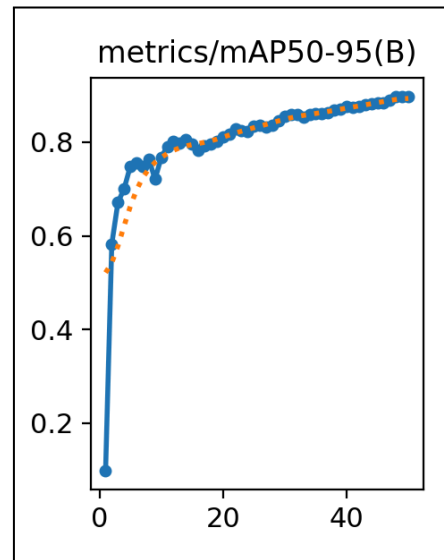
Pusat *bounding box* dalam gambar: ($x_2 \times 64 + 64 \times 3, y_2 \times 64 + 64 \times 3$) = ($0.6 \times 64 + 192, 0.6 \times 64 + 192$)
 $= (230.4, 230.4)$

Lebar dan tinggi *bounding box*: ($w_2 \times 448, h_2 \times 448$)
 $= (0.2 \times 448, 0.2 \times 448) = (89.6, 89.6)$

Setelah *bounding box* dihitung, *yolo* menerapkan *non-maximum suppression (nms)* untuk menghapus kotak yang tumpang tindih berdasarkan skor keyakinan, menjaga hanya kotak dengan skor tertinggi, setelah itu barulah hasil deteksi dapat disimpan dengan *bounding box* dan detail lainnya ke dalam *flask* untuk setiap gambar pelanggaran yang terdeteksi.

G. Pengujian Sistem

1) *Pengujian Sistem Metode White Box* : Pengujian *white box* pada model *deep learning* dilakukan untuk mengevaluasi kemampuannya dalam mendeteksi berbagai alat pelindung diri (APD), seperti pelindung torso, pelindung pernapasan, pelindung kepala, dan pelindung kaki, serta mendeteksi APD yang tidak digunakan. Gambar 14 menampilkan grafik hasil *training* model, sementara Gambar 15 menunjukkan hasil *training* dalam bentuk file *Excel*.



Gambar 14. Grafik metrik mAP (mean Average Precision) 50-95(B)

Grafik pada Gambar 14 menunjukkan metrik *mAP (mean Average Precision) 50-95(B)* selama *training* model deteksi objek, yang penting untuk mengevaluasi kinerja model. Sumbu vertikal menampilkan nilai *mAP* dari 0 hingga 1, sedangkan sumbu horizontal merepresentasikan jumlah iterasi pelatihan. Grafik menunjukkan tren peningkatan *mAP* dari 0 hingga lebih dari 0,8 seiring bertambahnya iterasi. Kesimpulannya, model mengalami peningkatan kinerja signifikan di awal pelatihan, diikuti peningkatan yang lebih lambat tetapi stabil, mencerminkan konvergensi model.

31	0.56772	0.36243	0.92402	0.98551	0.99769	0.99401	0.85973
32	0.56761	0.37246	0.92732	0.98352	0.99712	0.99373	0.85993
33	0.55943	0.383	0.93986	0.98536	0.99712	0.99359	0.85298
34	0.57303	0.36451	0.94225	0.98782	0.99621	0.99349	0.85943
35	0.5631	0.35792	0.90878	0.98795	0.99471	0.99331	0.86116
36	0.57152	0.37756	0.9314	0.98793	0.9949	0.99276	0.86054
37	0.59048	0.36816	0.91543	0.98873	0.99394	0.99298	0.86265
38	0.58166	0.35742	0.9281	0.99015	0.99164	0.99357	0.86885
39	0.56316	0.34906	0.93072	0.98906	0.99166	0.99377	0.87144
40	0.55267	0.35263	0.92734	0.98735	0.99343	0.99394	0.87692
41	0.56671	0.39022	0.95066	0.98928	0.99282	0.99426	0.87384
42	0.56496	0.36743	0.9199	0.98989	0.9931	0.99445	0.87574
43	0.56326	0.363	0.92622	0.98956	0.99354	0.99401	0.87951
44	0.56142	0.3663	0.90943	0.98853	0.99567	0.99368	0.88196
45	0.51692	0.34917	0.90105	0.98999	0.99332	0.99337	0.88315
46	0.5141	0.32929	0.87431	0.98978	0.99286	0.99322	0.88456
47	0.51741	0.35545	0.90999	0.98855	0.99293	0.9938	0.88994
48	0.53192	0.35588	0.92257	0.98776	0.99298	0.99421	0.89216
49	0.52089	0.33304	0.90736	0.9884	0.99315	0.99421	0.89212
50	0.50721	0.3199	0.87814	0.98901	0.99345	0.99431	0.89662

Gambar 15. Hasil angka *result* dari pelatihan model

Pada Gambar 15, setiap kolom ini tampaknya merepresentasikan metrik atau hasil yang berbeda dari setiap epoch selama pelatihan model. Baris-barisnya menunjukkan nilai dari metrik tersebut pada setiap *epoch*, dimulai dari *epoch* 1 hingga *epoch* 50, dapat dilihat hasil akurasi yang dipakai terdapat pada kolom berwarna hijau, terutama pada epoch ke-49.

- 2) Pengujian Deteksi APD Lengkap : Pengujian ini memastikan sistem dapat mendeteksi individu yang mengenakan Alat Pelindung Diri (APD) secara lengkap. Gambar 16 menampilkan antarmuka sistem pemantauan kamera yang mendeteksi secara real-time tanpa menyimpan gambar, karena tidak ada pelanggaran. Dalam gambar, terlihat kotak hijau di sekitar individu dengan label APD dan nilai persentase kepercayaan, seperti helm (0.56), masker (0.47), dan pakaian pelindung torso (0.55). Hasil ini menegaskan kepatuhan individu terhadap aturan penggunaan APD, meningkatkan keselamatan kerja.



Gambar 16. Deteksi APD Lengkap

- 3) Pengujian Deteksi APD Tidak Lengkap : Pengujian ini memastikan sistem dapat mendeteksi ketiadaan helm, masker, dan sepatu pelindung secara bersamaan, yang penting untuk keselamatan pekerja. Gambar 17 menunjukkan antarmuka aplikasi "View Kamera" yang mendeteksi individu secara *real-time*. Aplikasi menampilkan bounding box merah di sekitar individu dengan label "No Helmet," "No Mask," "Vest" dan "No Boots" beserta indikator persentase kepercayaan. Sistem menunjukkan ketidakhadiran helm (26%) dan masker (33%), sementara pakaian pelindung torso terdeteksi dengan

kehadiran 90%. Ketidakhadiran sepatu kiri dan kanan teridentifikasi dengan nilai masing-masing 39% dan 33%. Sistem ini dirancang untuk memantau kepatuhan terhadap protokol keselamatan di lingkungan kerja. Dengan adanya sistem deteksi ini, pengguna dapat dengan mudah mengakses dan memverifikasi hasil deteksi melalui laporan *Excel* yang diunduh, meningkatkan efisiensi dan akurasi dalam proses identifikasi dan koreksi kesalahan.



Gambar 17. Deteksi APD Tidak Lengkap

- 4) Pengujian Sistem Metode *Black Box* : Metode pengujian *black box* adalah teknik uji perangkat lunak yang mengevaluasi fungsi suatu sistem berdasarkan spesifikasi dan persyaratan tanpa melihat struktur internal atau kode sumbernya. Pengujian ini hanya berfokus pada input yang diberikan ke sistem dan output yang dihasilkan, dengan tujuan memastikan bahwa sistem berfungsi sesuai dengan yang diharapkan, tabel pengujian deteksi apd bisa dilihat pada tabel 1.

TABEL I
PENGUJIAN DETEKSI APD

No	Test Case Id	Test Scenario	Test Case	Status (Lulus/Gagal)
1	TC-001	Deteksi Masker	1. Pekerja melewati kamera tanpa masker	Lulus
2	TC-002	Deteksi Rompi	1. Pekerja melewati kamera tanpa rompi	Lulus
3	TC-003	Deteksi Helm	1. Pekerja melewati kamera tanpa helm	Lulus
4	TC-004	Deteksi Sepatu Boots	1. pekerja melewati kamera tanpa sepatu boots ke sistem	Lulus

IV. KESIMPULAN

Setelah melakukan perancangan dan pengujian pada sistem deteksi alat pelindung diri (APD) di industri migas, dapat disimpulkan bahwa metode *YOLO (You Only Look Once)* efektif digunakan untuk deteksi APD. Proses pembuatan model melibatkan pelabelan setiap dataset, yang kemudian digunakan untuk proses pelatihan lokal melalui *Windows PowerShell*, menghasilkan *mAP (mean Average Precision)* 50-95(B) sebesar 89.71%. Secara keseluruhan, akurasi deteksi APD cukup memuaskan dengan syarat kondisi pencahayaan dan lingkungan yang optimal. Namun, jika kondisi pencahayaan dan lingkungan tidak memadai, akurasi deteksi dapat terganggu. Sistem ini mengalami kesulitan dalam mendeteksi masker dan sepatu *boot*, yang disebabkan oleh resolusi kamera *webcam* yang terbatas, sehingga sepatu *boot* hanya terdeteksi sebagian, dengan satu sepatu yang konsisten terdeteksi sementara yang lainnya sering terlewatkan. Selain itu, sistem masih kesulitan membedakan APD yang digunakan dengan objek lain yang menyerupai APD, seperti objek yang mirip dengan masker atau helm, sehingga masih diperlukan pengembangan lebih lanjut untuk meningkatkan kemampuan sistem dalam membedakan APD dari objek lain.

REFERENSI

- [1] R. Gultom, M.SI, "Analisis Penggunaan Alat Pelindung Diri (APD) Dalam Keselamatan Dan Kesehatan Kerja (K3) Proyek Kontruksi Di PT. Eka Paksi Sejati. Studi Kasus:Proyek Kontruksi Untuk Pemboran Sumur Eksploirasi Titanum (TTN-001) Daerah Aceh Tamiang," *Jurnal Bisnis Corporate*, Vol. 3, No. 1, Pp. 92-124, 2018.
- [2] A. Aini, V. D. Putri And P. Apriyanti, "EDUKASI PEMAKAIAN APD (ALAT PELINDUNG DIRI) PADA PEKERJA," *Jurnal Peduli Masyarakat*, Vol. 5, No. 1, Pp. 221-226, 2023.
- [3] I. Mindhayani, "PENYULUHAN KESELAMATAN DAN KESEHATAN KERJA (K3) DI UD. BAROKAH BANTUL (OCCUPATIONAL SAFETY AND HEALTH EDUCATION (K3) IN UD. BAROKAH BANTUL)," *Jurnal Berdaya Mandiri*, Vol. 1, No. 1, Pp. 78-82, 2019.
- [4] M. Yenni, "FAKTOR-FAKTOR YANG MEMPENGARUHI PERILAKU PENGGUNAAN ALAT PELINDUNG DIRI (APD) PADA PEKERJA PERKEBUNAN SAWIT PT. KEDATON MULIA PRIMAS JAMBI TAHUN 2017," *Jurnal Ilmiah Ilmu Kesehatan*, Vol. 8, No. 1, Pp. 84-91, 2020.
- [5] S. Fadillah And E. Soesanto, "Analisis Dampak Kegiatan Industri Hulu Migas Terhadap Pembangunan Nasional Dalam Aspek Ekonomi Regional Indonesia," *Jurnal Mahasiswa Kreatif*, Vol. 1, No. 4, Pp. 10-24, 2023.
- [6] S. Winarto, H. M. Denny And B. Kurniawan, "Studi Kasus Kecelakaan Kerja Pada Pekerja Pengeboran Migas Seismic Survey PT. X Di Papua Barat," *Jurnal Promosi Kesehatan Indonesia*, Vol. 11, No. 1, Pp. 51-65, 2016.
- [7] R. Pradhitya, "Pembangunan Aplikasi Deteksi Dan Tracking Warna Virtual Drawing Menggunakan Algoritma Color Filtering," *Jurnal Ilmiah Komputer Dan Informatika (KOMPUTA)*, 2015.
- [8] S. Ilahiyah And A. Nilogiri, "Implementasi Deep Learning Pada Identifikasi Jenis Tumbuhan Berdasarkan Citra Daun Menggunakan Convolutional Neural Network," *JUSTINDO (Jurnal Sistem & Teknologi Informasi Indonesia)*, Vol. 3, No. 2, Pp. 49-56, 2018.
- [9] C. Evita, R. Alfita, H. R. V. Nahari, M. Ulum And M. Pramudia, "Rancang Bangun Timbangan Buah Digital Menggunakan Metode YOLO," *Jurnal FORTEI Regional VII Jawa Timur*, Vol. 3, No. 1, Pp. 34-42, 2022.
- [10] M. Sarosa And N. Muna, "IMPLEMENTASI ALGORITMA YOU ONLY LOOK ONCE(YOLO) UNTUK DETEKSI KORBAN BENCANA ALAM," *Jurnal Teknologi Informasi Dan Ilmu Komputer (JTIK)*, Vol. 8, No. 4, Pp. 787-792, 2019.