

Rancang Bangun Aplikasi Deteksi APD Pekerja Pabrik Menggunakan Algoritma YOLOv5

Muhammad Iqbal¹, Fajar Septian²

^{1,2,3}Universitas Pamulang; Jl. Suryakencana No.1, Pamulang Bar., Kec. Pamulang, Kota Tangerang Selatan, Banten 15417, (021) 7412566

^{1,2,3}Jurusan Teknik Informatika, Fakultas Ilmu Komputer, Universitas Pamulang

e-mail: ¹muhammad.iqbal4873@gmail.com, ²dosen00677@unpam.ac.id

Abstrak

Kelalaian dalam penggunaan Alat Pelindung Diri (APD) merupakan salah satu faktor utama penyebab kecelakaan kerja di lingkungan pabrik. Penelitian ini bertujuan mengembangkan sistem deteksi otomatis kelengkapan APD untuk meningkatkan keselamatan dan kesehatan kerja bagi pekerja. Fokus penelitian adalah mengidentifikasi secara otomatis keberadaan atau ketidakhadiran APD seperti helm keselamatan (Hardhat), rompi keselamatan (Safety Vest), dan masker (Mask), serta mendeteksi objek terkait seperti pekerja (Person) dan kondisi tanpa APD (NO-Hardhat, NO-Safety Vest, NO-Mask) melalui analisis citra digital. Penelitian dilakukan sebagai studi kasus di PT Bangunperkasa Adhitamasentra. Metode yang digunakan adalah algoritma deteksi objek YOLO (You Only Look Once), yang mampu melakukan deteksi cepat dan akurat dalam satu proses inferensi. Model dilatih menggunakan dataset khusus berisi tujuh kelas objek dan diuji pada beberapa citra pekerja di area pabrik. Dari pengujian terhadap tujuh gambar, sistem berhasil mendeteksi seluruh objek target dengan tingkat kepercayaan 61% hingga 98%. Hanya satu gambar yang terdeteksi lengkap menggunakan APD (Valid), sedangkan enam lainnya belum lengkap (Tidak Valid). Nilai kepercayaan deteksi antara lain: Person (76%–98%), Hardhat (76%–93%), Mask (90%–97%), Safety Vest (61%–97%), serta label “NO-” berada pada kisaran 78%–97%. Hasil ini menunjukkan sistem deteksi APD berbasis YOLO efektif sebagai alat bantu pengawasan keselamatan kerja secara otomatis dan real-time.

Kata kunci—Deteksi APD, YOLOv5, Pekerja Pabrik, Computer Vision, Keselamatan Kerja

I. PENDAHULUAN

Faktor Perilaku dalam Kepatuhan Menggunakan APD di Lingkungan Pabrik Perilaku pekerja menjadi salah satu faktor penting dalam kepatuhan terhadap Penggunaan Alat Pelindung Diri (APD) bertujuan untuk meminimalisir risiko terjadinya kecelakaan di tempat kerja. Mengacu pada teori Lawrence Green, perilaku dipengaruhi oleh tiga faktor utama, yaitu faktor predisposisi, faktor pendukung, dan faktor pendorong. Upaya menjaga keselamatan dan kesehatan kerja merupakan bagian penting dalam menciptakan lingkungan kerja yang aman dan sehat, sehingga mereka dapat bekerja dengan aman dan nyaman.

Berdasarkan data BPJS Ketenagakerjaan, pada tahun 2021 tercatat sebanyak 234.270 kasus kecelakaan kerja di Indonesia, dengan angka yang terus meningkat setiap tahunnya. Tingginya angka kecelakaan kerja menunjukkan bahwa penerapan keselamatan kerja, khususnya kepatuhan penggunaan APD, masih belum optimal. Kondisi ini menjadi perhatian serius mengingat kecelakaan kerja dapat berdampak pada keselamatan pekerja serta produktivitas perusahaan.

Lingkungan pabrik memiliki risiko khusus seperti kecelakaan akibat mesin yang tidak terkunci, terjebak dalam peralatan berat, terbakar oleh cairan kimia, atau cedera akibat benda jatuh. Oleh karena itu, penerapan keselamatan kerja yang baik menjadi krusial untuk menekan angka kecelakaan. Penelitian oleh Jayanti et al. menunjukkan bahwa hanya 7,93% pekerja yang menggunakan APD secara lengkap, sementara 92,07%

sisanya menggunakan APD tidak secara optimal. Hal ini menunjukkan adanya kebutuhan mendesak untuk meningkatkan kepatuhan penggunaan APD di lingkungan kerja.

Berdasarkan latar belakang yang telah diuraikan, dapat diidentifikasi beberapa permasalahan utama dalam penelitian ini. Pertama, tingkat kedisiplinan pekerja dalam menggunakan alat pelindung diri (APD) masih tergolong rendah. Kondisi ini berpotensi meningkatkan risiko kecelakaan kerja yang dapat merugikan baik dari segi keselamatan individu maupun produktivitas perusahaan. Kedua, belum adanya sistem atau mekanisme peringatan dini yang dapat memberikan notifikasi secara otomatis kepada pekerja apabila mereka tidak mematuhi prosedur keselamatan kerja. Ketiadaan fitur ini menyebabkan pengawasan harus dilakukan secara manual, yang tidak selalu efektif dan efisien dalam lingkungan kerja yang dinamis. Oleh karena itu, kedua permasalahan tersebut menjadi dasar penting dalam merancang sistem yang dapat meningkatkan kepatuhan terhadap keselamatan kerja di lapangan.

Sebagai solusi atas permasalahan yang dibahas, penulis mengusulkan penerapan Artificial Intelligence (AI) dalam pengembangan aplikasi pendeteksi penggunaan Alat Pelindung Diri (APD) bagi pekerja di lingkungan pabrik. AI yang dikembangkan berfokus pada bidang computer vision dengan mengimplementasikan algoritma YOLO sebagai inti dari sistem deteksi. Algoritma YOLO (You Only Look Once) merupakan pendekatan canggih dalam deteksi objek yang dikenal karena kecepatannya dan akurasi. Dengan menggunakan YOLO, deteksi dan identifikasi kelengkapan APD dapat dilakukan secara cepat dan efisien. Berbagai studi telah mendukung penggunaan teknologi ini. Contohnya, penelitian Moch. Djaohar et al. menggunakan algoritma YOLO untuk mendeteksi APD seperti helm, masker, sarung tangan, rompi, earmuff, dan sepatu dengan tingkat keberhasilan hingga 100% pada beberapa kategori.

Studi lainnya oleh Susi Susanti menunjukkan akurasi 93% dalam mendeteksi helm menggunakan TinyYOLOv3, sedangkan Agustin Nurfirmansyah dan Rohman Dijaya menggunakan YOLOv4 untuk mendeteksi kelengkapan APD dengan rata-rata akurasi 80% secara real-time. Pada penelitian ini, peneliti memilih menggunakan YOLOv5, iterasi terbaru dari serangkaian model deteksi objek YOLO yang dikembangkan oleh Ultralytics. YOLOv5 memiliki keunggulan dalam deteksi multiobjek secara real-time, dengan akurasi tinggi serta efisiensi dalam proses inferensi. Implementasi sistem ini dirancang untuk

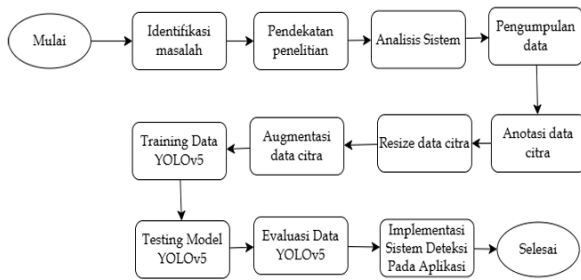
memeriksa kelengkapan APD pekerja sebelum memasuki area kerja, memastikan bahwa standar keselamatan telah terpenuhi. Dengan adanya sistem deteksi ini, diharapkan risiko kecelakaan kerja di pabrik dapat diminimalkan, sekaligus menciptakan lingkungan kerja yang lebih aman, produktif, dan sesuai dengan standar keselamatan kerja.

II. METODE PELAKSANAAN

Seluruh rangkaian tahapan penelitian dijelaskan secara sistematis untuk memberikan gambaran yang jelas mengenai alur kerja yang digunakan dalam mengembangkan sistem deteksi kelengkapan Alat Pelindung Diri (APD) berbasis algoritma YOLOv5. Pembahasan mencakup proses identifikasi masalah, pengumpulan dan pengolahan dataset, proses anotasi objek, persiapan data untuk pelatihan, pemilihan model, hingga tahapan implementasi dan evaluasi sistem. Dengan penyajian yang terstruktur, pembaca dapat memahami bagaimana setiap tahapan saling terhubung dan berkontribusi terhadap kualitas serta performa akhir dari sistem yang dibangun.

Selain penjelasan secara naratif, rangkaian tahapan yang ditempuh juga disajikan dalam bentuk visual untuk mempermudah pemahaman alur penelitian. Diagram alur tersebut, yang ditampilkan pada Gambar 1, menggambarkan secara runtut proses mulai dari input data hingga keluaran akhir berupa sistem deteksi APD yang dapat digunakan pada aplikasi berbasis web. Penyajian dalam bentuk diagram ini berfungsi sebagai panduan ringkas yang menunjukkan hubungan antarproses, seperti bagaimana data mentah diproses menjadi dataset siap latih, bagaimana model dilatih menggunakan YOLOv5, serta bagaimana model tersebut kemudian diintegrasikan ke dalam sistem aplikasi.

Dengan demikian, penjelasan penelitian memberikan konteks mengenai alasan pemilihan metode, prosedur teknis yang digunakan, serta kontribusi setiap tahap dalam mencapai tujuan penelitian secara keseluruhan. Bab ini menjadi bagian penting untuk memahami fondasi metodologis dari penelitian ini sebelum melanjutkan ke pembahasan hasil pada Gambar dibawah berikut ini:



2.1 Analisis Sistem

Analisis sistem pada penelitian ini bertujuan untuk mengidentifikasi kebutuhan perangkat keras dan perangkat lunak yang diperlukan dalam pengembangan sistem pendeteksi kelengkapan penggunaan alat pelindung diri (APD) secara real-time pada lingkungan kerja pabrik. Sistem ini dirancang agar mampu berfungsi secara optimal dalam mendukung keselamatan kerja. Berikut merupakan detail spesifikasi perangkat dan aplikasi pendukung yang digunakan selama proses pengembangan dan implementasi sistem.

1. Kebutuhan Spesifikasi Komputer Minimal

- CPU AMD Ryzen 5
- RAM 16
- STORAGE 16 GB
- OS (WINDOWS/LINUX/MAC OS)

2. Aplikasi Dan Modul

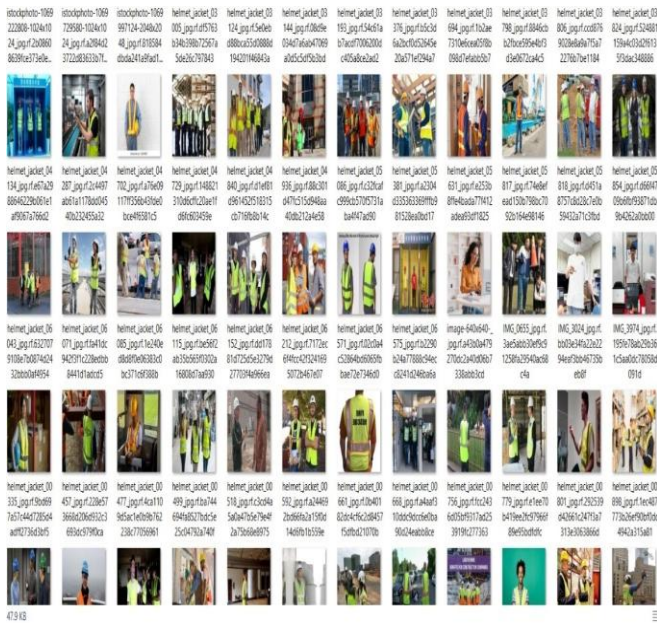
- Visual Studio Code
- Python
- Roboflow
- Flask
- Google Collab

2.2 Pengumpulan Data

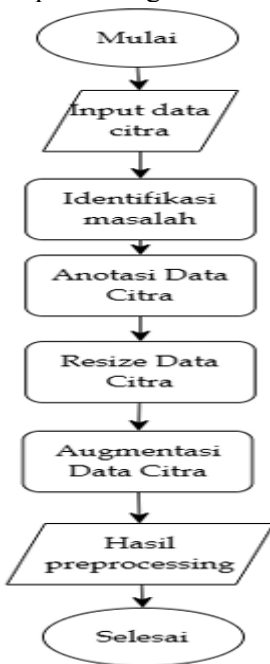
Pada penelitian ini, proses pengumpulan data dimulai dengan mengunduh dataset dari platform Mendeley Data, yang menyediakan total 3.212 gambar berkaitan dengan penggunaan Alat Pelindung Diri (APD) di lingkungan kerja konstruksi. Dataset tersebut dipilih karena memiliki cakupan visual yang beragam, mencakup berbagai kondisi pencahayaan, sudut pengambilan gambar, jenis pekerja, serta variasi penggunaan APD. Keberagaman ini membuat dataset tersebut sangat representatif untuk menggambarkan situasi nyata di lapangan, sehingga ideal digunakan sebagai dasar pelatihan model deteksi berbasis kecerdasan buatan. Setelah dataset berhasil diunduh, seluruh gambar kemudian diproses menggunakan platform Roboflow, sebuah alat yang memfasilitasi pengelolaan dataset computer vision secara terstruktur

dan efisien. Roboflow menyediakan antarmuka yang memudahkan peneliti untuk melakukan berbagai tahap penting dalam pengolahan data, mulai dari anotasi, pra-proses, hingga ekspor dataset sesuai format model yang diinginkan. Pada tahap anotasi, setiap gambar diperiksa secara manual dan diberi label pada objek-objek utama seperti helm (hardhat), rompi keselamatan (safety vest), dan pelindung wajah atau masker, termasuk pula label "NO-" untuk menandai kondisi tidak menggunakan APD. Proses ini memerlukan ketelitian tinggi karena kualitas anotasi memiliki pengaruh langsung terhadap performa akhir model dalam mendeteksi objek. Tahapan berikutnya adalah melakukan pra-proses (preprocessing) terhadap seluruh gambar untuk menyamakan format dan ukuran input. Setiap citra diubah resolusinya menjadi 640×640 piksel, sesuai dengan standar input yang direkomendasikan untuk YOLOv5. Selain penyamaan ukuran, Roboflow juga memberikan opsi penerapan augmentasi data seperti rotasi, flipping horizontal, penyesuaian kecerahan, kontras, hingga modifikasi warna. Augmentasi ini sangat penting karena berfungsi memperkaya variasi dataset sehingga model menjadi lebih robust dan mampu beradaptasi dengan kondisi lingkungan yang berbeda saat diterapkan di dunia nyata.

Dengan melalui proses anotasi manual, pra-proses yang terstruktur, serta augmentasi yang memadai, dataset yang dihasilkan menjadi jauh lebih berkualitas dan siap digunakan dalam tahap pelatihan model YOLOv5. Kesiapan dataset ini memainkan peran penting dalam meningkatkan akurasi serta kemampuan generalisasi model, sehingga pada akhirnya sistem dapat bekerja dengan lebih andal dalam mendeteksi penggunaan APD secara real-time di lingkungan kerja industri maupun konstruksi.



A. Pre-processing Data

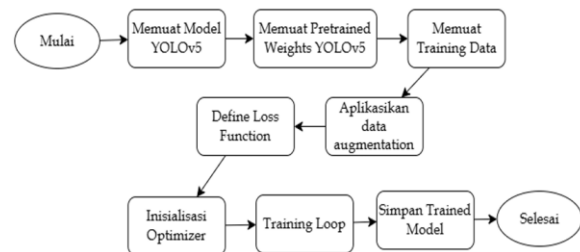


Gambar diatas menunjukkan tahapan awal dalam pengolahan data citra untuk sistem deteksi kelengkapan penggunaan alat pelindung diri (APD). Proses dimulai dengan mengunggah gambar yang telah dikumpulkan ke platform Roboflow. Setelah itu, dilakukan proses identifikasi dan anotasi objek pada citra ke dalam beberapa kategori utama, yaitu person (orang), hardhat (helm keselamatan), no-hardhat (tidak menggunakan helm), mask (masker), no-mask (tidak menggunakan masker), safety vest (rompi keselamatan), dan no-safety vest (tidak menggunakan rompi keselamatan). Setelah proses anotasi selesai, dataset secara otomatis dibagi menjadi tiga bagian, yaitu training, validation,

dan testing. Kemudian, dilakukan penyesuaian ukuran citra menjadi 640x640 piksel agar sesuai dengan format input model YOLOv5. Selanjutnya diterapkan teknik augmentasi guna memperkaya variasi data pelatihan dan meningkatkan kemampuan model dalam mengenali berbagai kondisi objek.

Setelah tahapan preprocessing selesai, dataset dapat diunduh dalam format YOLOv5 (PyTorch) untuk digunakan dalam pelatihan model. Roboflow juga menyediakan fitur pelatihan langsung pada dataset tersebut serta menampilkan hasil evaluasi berupa nilai precision, recall, dan mAP untuk mengukur kinerja model deteksi yang telah dilatih.

B. Pelatihan Data



Gambar menunjukkan tahapan proses pelatihan model deteksi objek menggunakan YOLOv5. Proses dimulai dengan memuat arsitektur model YOLOv5, dilanjutkan dengan mengimpor bobot awal (pretrained weights) yang telah disediakan oleh pengembang model. Setelah itu, sistem memuat data pelatihan yang akan digunakan dalam proses pembelajaran. Sebelum data digunakan sepenuhnya, dilakukan proses augmentasi data guna meningkatkan variasi dan kualitas dataset. Tahap berikutnya adalah mendefinisikan fungsi kerugian (loss function) yang akan digunakan untuk mengukur perbedaan antara prediksi model dan label sebenarnya. Setelah itu, proses dilanjutkan dengan inialisasi optimizer untuk mengatur proses pembaruan bobot model. Selanjutnya, sistem masuk ke dalam training loop, yaitu proses iteratif pelatihan yang berjalan berdasarkan jumlah epoch tertentu. Setelah seluruh data dilatih, model yang telah terlatih akan disimpan untuk digunakan pada tahap pengujian atau implementasi. Dengan demikian, seluruh proses pelatihan model selesai dilakukan.

2.3 Evaluasi Data

Setelah proses pelatihan data menggunakan model YOLOv5 dilakukan beberapa kali, langkah selanjutnya adalah mengevaluasi performa dari model yang telah dilatih. Evaluasi ini bertujuan untuk mengetahui seberapa baik model dalam melakukan deteksi terhadap objek yang telah ditentukan. Hasil evaluasi

dapat diperoleh dari file weights terakhir yang disimpan setelah pelatihan selesai. Indikator yang digunakan dalam evaluasi ini meliputi nilai precision, recall, mean Average Precision (mAP), dan F1-Score.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Bab ini menyajikan secara menyeluruh hasil yang diperoleh dari penelitian serta pembahasan mendalam mengenai proses pengembangan sistem deteksi kelengkapan Alat Pelindung Diri (APD) menggunakan algoritma YOLOv5. Pembahasan dimulai dari tahapan pra-pemrosesan data yang mencakup pengumpulan dataset, proses anotasi, augmentasi, hingga penyesuaian ukuran citra agar sesuai dengan standar input model. Pada bagian ini juga dijelaskan bagaimana kualitas dan keberagaman dataset berperan penting dalam membentuk performa akhir model deteksi. Selanjutnya, bab ini menguraikan proses pelatihan model (training) yang dilakukan menggunakan lingkungan komputasi berbasis cloud, termasuk pemilihan parameter pelatihan, penggunaan pretrained weights, hingga mekanisme pembaruan bobot yang terjadi selama proses training berlangsung.

Setelah tahap pelatihan selesai, bab ini melanjutkan dengan pemaparan rinci mengenai evaluasi performa model, yang diukur menggunakan metrik-metrik seperti precision, recall, dan mean Average Precision (mAP). Evaluasi ini menjadi dasar untuk menilai apakah model telah mampu mendeteksi objek-objek APD secara akurat dan konsisten. Tidak hanya itu, pembahasan juga mencakup analisis terhadap kelemahan model, misalnya jika terdapat kesalahan deteksi atau kelas tertentu yang masih memiliki tingkat akurasi lebih rendah dibandingkan kelas lainnya. Dengan demikian, bab ini tidak hanya menampilkan hasil akhir, tetapi juga memberikan refleksi kritis terhadap performa model.

Tahap berikutnya adalah pengujian sistem secara menyeluruh setelah model diintegrasikan ke dalam aplikasi berbasis web. Pada bagian ini dibahas bagaimana model YOLOv5 diimplementasikan pada antarmuka aplikasi, proses inferensi real-time, respon aplikasi terhadap input gambar atau video, serta kemampuan sistem dalam memberikan hasil deteksi secara cepat dan akurat. Selain itu, diuji pula stabilitas sistem ketika digunakan dalam berbagai kondisi, termasuk variasi pencahayaan, latar belakang, dan posisi pekerja. Bab ini juga mencakup analisis tentang

bagaimana aplikasi mendukung proses monitoring keselamatan kerja melalui fitur pelaporan atau penyimpanan data deteksi.

Secara keseluruhan, bab ini memberikan gambaran lengkap mengenai alur kerja penelitian mulai dari persiapan data hingga implementasi akhir aplikasi. Pembahasan dibuat komprehensif agar dapat memberikan pemahaman mendalam mengenai efektivitas sistem deteksi APD yang dikembangkan, kelebihan yang ditawarkan, serta tantangan yang mungkin muncul dalam penerapan di lingkungan kerja nyata.

A. Pre-processing Data

Proses pengolahan data dalam penelitian ini dimulai dari pengumpulan seluruh citra yang kemudian diunggah ke platform Roboflow untuk dilakukan pengelolaan dataset secara terstruktur. Pada tahap ini, setiap gambar melalui proses anotasi manual untuk memberi label terhadap objek-objek yang ingin dideteksi. Label yang digunakan mencakup enam kelas berbeda, yaitu hardhat, gloves, no hardhat, mask, no safety vest, dan safety vest. Tahap anotasi ini menjadi langkah awal yang sangat penting karena kualitas label akan sangat memengaruhi kemampuan model dalam mengenali objek pada proses pelatihan nantinya. Setelah seluruh gambar selesai dianotasi sesuai kelasnya, Roboflow secara otomatis menyediakan fasilitas untuk membagi dataset ke dalam tiga subset utama, yaitu train sebagai data latih, validation sebagai data validasi, dan test sebagai data uji. Pembagian ini dilakukan untuk memastikan bahwa model dapat belajar secara optimal sekaligus diuji dengan data yang belum pernah dilihat sebelumnya.

Setiap gambar dalam dataset kemudian diproses lebih lanjut dengan mengubah resolusinya menjadi 640x640 piksel agar sesuai dengan standar input YOLOv5. Roboflow juga menerapkan berbagai teknik augmentasi seperti rotasi, perubahan pencahayaan, flipping, dan penyesuaian warna untuk memperkaya variasi data. Augmentasi ini bertujuan untuk membuat model lebih tangguh terhadap perubahan kondisi lingkungan yang mungkin terjadi pada saat penerapan di lapangan. Setelah semua tahap persiapan selesai, dataset diunduh dalam format YOLOv5 PyTorch sehingga sepenuhnya kompatibel dengan framework model deteksi yang digunakan dalam penelitian ini.

Roboflow menyediakan fitur pelatihan otomatis menggunakan dataset yang telah disiapkan. Hasil pelatihan akan menghasilkan serangkaian nilai metrik,

di antaranya precision, recall, dan mAP (mean Average Precision). Precision menggambarkan seberapa tepat model dalam mengidentifikasi objek yang benar sesuai kelasnya, recall menunjukkan kemampuan model dalam menemukan seluruh objek yang ada pada gambar, sedangkan mAP memberikan ukuran kinerja komprehensif terhadap semua kelas deteksi yang digunakan. Ketiga metrik ini menjadi indikator utama dalam mengevaluasi apakah model sudah bekerja secara efektif atau masih perlu dilakukan perbaikan. Ketika model sudah menunjukkan performa yang dianggap memadai berdasarkan nilai precision, recall, dan mAP tersebut, model hasil pelatihan dapat diunduh dan digunakan dalam implementasi sistem deteksi secara langsung.

Tahapan ini merupakan bagian penting dari keseluruhan proses pengembangan sistem deteksi otomatis, terutama untuk memastikan bahwa model yang dihasilkan tidak hanya bekerja baik pada data latih, tetapi juga mampu mengidentifikasi objek secara akurat pada kondisi nyata di lingkungan kerja pabrik. Kehadiran platform seperti Roboflow sangat membantu dalam menyederhanakan seluruh alur kerja, mulai dari anotasi, pembagian dataset, augmentasi, hingga pelatihan model. Pengguna tidak perlu membuat skrip manual untuk menjalankan proses-proses tersebut karena semuanya telah disediakan melalui antarmuka grafis yang intuitif. Dalam konteks implementasi computer vision berbasis kecerdasan buatan, terutama untuk mendeteksi penggunaan Alat Pelindung Diri (APD), proses ini menjadi sangat krusial.

Dengan pipeline yang terstruktur dan dataset yang berkualitas, model deteksi APD dapat bekerja lebih andal dalam mengidentifikasi pelanggaran penggunaan APD secara real-time. Implementasi sistem ini di lingkungan kerja berpotensi besar meningkatkan efektivitas pengawasan keselamatan, mendukung kepatuhan terhadap standar K3, serta secara langsung membantu meminimalkan risiko kecelakaan akibat kelalaian penggunaan APD. Melalui kombinasi teknologi vision AI dan pengolahan data yang baik, penelitian ini memberikan kontribusi praktis terhadap sistem otomasi keselamatan kerja di area industri.

B. Pelatihan Data

Proses pelatihan data menggunakan model YOLOv5 dalam penelitian ini dilakukan melalui platform Google Colab, yang dipilih karena kemampuannya menyediakan lingkungan komputasi berbasis GPU secara fleksibel dan terintegrasi. Google

Colab kemudian dihubungkan langsung dengan Google Drive agar seluruh hasil pelatihan, log proses, bobot model, serta file keluaran lainnya dapat tersimpan secara otomatis dan tetap dapat diakses kapan pun tanpa risiko hilang. Integrasi ini tidak hanya mempermudah proses penyimpanan, tetapi juga memungkinkan pelatihan dilanjutkan kembali apabila sesi Colab terputus.

Tahapan pelatihan dimulai dengan memuat dataset yang sebelumnya telah diproses melalui Roboflow, mencakup penyesuaian ukuran gambar, augmentasi, serta pembagian data yang telah disiapkan dalam format YOLOv5 PyTorch. Setelah dataset berhasil dimuat, langkah selanjutnya adalah memanggil repositori YOLOv5 dari Ultralytics ke dalam lingkungan kerja Colab. Repositori ini berisi arsitektur jaringan, konfigurasi model, skrip pelatihan, serta berbagai utilitas yang diperlukan dalam proses training.

Setelah seluruh komponen dasar tersedia, dilakukan pemuatan bobot awal (pretrained weights) yang akan menjadi dasar bagi model untuk mempelajari pola baru dari dataset APD. Bobot awal ini biasanya diambil dari model yang telah dilatih sebelumnya pada dataset umum seperti COCO, sehingga model memiliki kemampuan awal dalam mengenali bentuk dan fitur dasar objek. Selanjutnya, ditentukan fungsi loss yang akan digunakan untuk mengukur seberapa jauh prediksi model dari label sebenarnya pada setiap iterasi pelatihan. Fungsi loss ini sangat penting karena menjadi acuan bagi optimizer untuk memperbarui bobot jaringan agar performa model semakin baik.

Tahapan berikutnya adalah inisialisasi optimizer, yaitu algoritma yang bertugas mengatur proses pembaruan bobot berdasarkan nilai loss pada setiap iterasi. Optimizer memastikan bahwa proses pembelajaran berlangsung stabil, terarah, dan menuju nilai optimal. Ketika semua komponen tersebut telah siap, pelatihan memasuki tahap inti berupa training loop. Pada fase ini, dataset akan diproses secara berulang selama jumlah epoch yang ditentukan. Setiap epoch mencakup proses forward pass, perhitungan loss, dan backward pass untuk memperbarui bobot model. Seiring bertambahnya epoch, model secara bertahap mempelajari pola visual dari dataset APD dan meningkatkan kemampuan deteksinya.

Setelah seluruh epoch selesai dijalankan, model yang telah dilatih kemudian disimpan secara permanen ke Google Drive agar dapat digunakan dalam tahap implementasi berikutnya. Model yang tersimpan

meliputi bobot akhir, konfigurasi, serta laporan proses training dalam bentuk grafik dan log. Tahap akhir dari proses ini adalah evaluasi performa model untuk mengukur tingkat akurasi deteksi yang dicapai YOLOv5. Evaluasi dilakukan menggunakan subset data validasi maupun data uji yang tidak digunakan pada saat pelatihan, sehingga hasil evaluasi benar-benar mencerminkan kemampuan model dalam mendeteksi objek pada kondisi nyata.

Dengan seluruh tahapan ini, pelatihan model YOLOv5 dapat dilakukan secara sistematis, terstruktur, serta mudah dilanjutkan kapan pun, sehingga mendukung pengembangan sistem deteksi APD yang optimal dan andal dalam lingkungan industri.

C. Evaluasi Data

epoch	train/box_loss	train/cls_loss	train/obj_loss	metrics/precision@	metrics/recall@	metrics/mAP@
0	1.3188	4.4082	1.4179	0.80943	0.8284	0.82
1	1.3378	3.3976	1.4266	0.82999	0.87296	0.188
2	1.4552	2.7111	1.482	0.58916	0.89521	0.89
3	1.4646	2.5182	1.4842	0.6425	0.17493	0.163
4	1.4221	2.29	1.4782	0.58833	0.1553	0.168
5	1.4534	2.2315	1.4887	0.51244	0.18518	0.188
6	1.4279	2.1429	1.46	0.68369	0.21112	0.234
7	1.4213	2.1465	1.4669	0.69887	0.22571	0.252
8	1.4384	2.0286	1.4451	0.45238	0.26584	0.264
9	1.3877	1.9436	1.4357	0.55122	0.41372	0.276
10	1.3851	1.8669	1.4281	0.63741	0.21551	0.29
11	1.3853	1.8782	1.4227	0.65282	0.26374	0.284
12	1.3891	1.8779	1.4169	0.66946	0.28577	0.286
13	1.341	1.8651	1.3937	0.51952	0.28661	0.340
14	1.3287	1.8514	1.4069	0.46129	0.2866	0.380
15	1.3283	1.7596	1.3729	0.6769	0.28365	0.324
16	1.3135	1.719	1.3821	0.47691	0.2855	0.379
17	1.2781	1.6867	1.3676	0.25641	0.48465	0.386
18	1.2495	1.6386	1.3379	0.66012	0.331	0.469
19	1.2814	1.7815	1.3832	0.78222	0.31599	0.397
20	1.2887	1.8389	1.3384	0.51843	0.38464	0.466
21	1.2668	1.6427	1.3521	0.51648	0.45692	0.434
22	1.2485	1.5381	1.3882	0.7885	0.37649	0.415
23	1.2485	1.5385	1.3118	0.71615	0.32758	0.46
24	1.2242	1.5116	1.2427	0.69229	0.35229	0.487
25	1.2386	1.4934	1.3849	0.78131	0.34945	0.381
26	1.2145	1.4489	1.2884	0.54845	0.48194	0.418
27	1.1886	1.4579	1.281	0.78699	0.38542	0.441
28	1.1799	1.4488	1.2884	0.78699	0.38542	0.441

Setelah proses pelatihan data dengan menggunakan model YOLOv5 dijalankan beberapa kali untuk memperoleh parameter model yang paling optimal, langkah berikutnya adalah melakukan evaluasi menyeluruh terhadap performa model tersebut. Tahap evaluasi ini merupakan bagian yang sangat penting dalam alur pengembangan sistem deteksi berbasis kecerdasan buatan, karena melalui tahap inilah dapat diketahui seberapa baik model memahami pola dalam dataset dan seberapa akurat model melakukan prediksi pada data yang belum pernah dilihat sebelumnya. Evaluasi dilakukan dengan memanfaatkan file weight atau bobot model terakhir yang secara otomatis disimpan setelah seluruh proses training selesai dilaksanakan. Bobot ini merupakan hasil akumulasi pembelajaran model selama banyak epoch, sehingga mencerminkan kemampuan akhir model setelah proses optimasi.

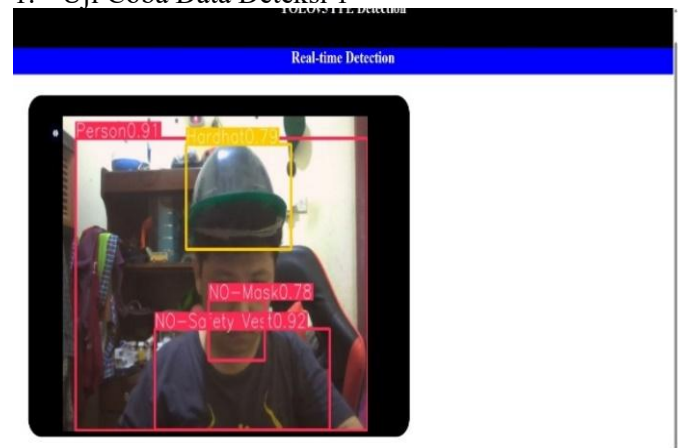
Pada proses evaluasi, YOLOv5 akan menguji dirinya sendiri menggunakan data validasi atau data uji, kemudian menghasilkan sejumlah metrik performa

yang menjadi indikator tingkat keberhasilan pelatihan. Beberapa metrik utama yang diperoleh antara lain precision, recall, dan mAP (mean Average Precision). Precision menggambarkan ketepatan model dalam mengidentifikasi objek yang benar tanpa menghasilkan terlalu banyak prediksi salah; semakin tinggi precision, semakin sedikit model memberikan deteksi palsu (false positive). Recall menunjukkan kemampuan model dalam menemukan seluruh objek yang ada pada gambar; semakin tinggi nilai recall, semakin kecil kemungkinan model melewatkan objek penting (false negative). Sementara itu, mAP merupakan metrik yang paling komprehensif karena menghitung rata-rata akurasi deteksi pada berbagai tingkat confidence, sehingga memberikan gambaran menyeluruh tentang performa model dalam berbagai skenario deteksi.

Ketiga metrik tersebut dianalisis bersama-sama untuk menentukan apakah model sudah memenuhi standar yang dibutuhkan sebelum digunakan dalam implementasi nyata. Jika nilai precision, recall, dan mAP menunjukkan performa yang konsisten dan stabil, maka bobot model dapat dinyatakan layak untuk digunakan pada tahap inference atau deteksi langsung di lingkungan kerja. Dengan demikian, tahap evaluasi tidak hanya berfungsi sebagai proses pengecekan akhir, tetapi juga menjadi penentu kesiapan model YOLOv5 dalam diterapkan sebagai bagian dari sistem deteksi otomatis yang handal dan akurat.

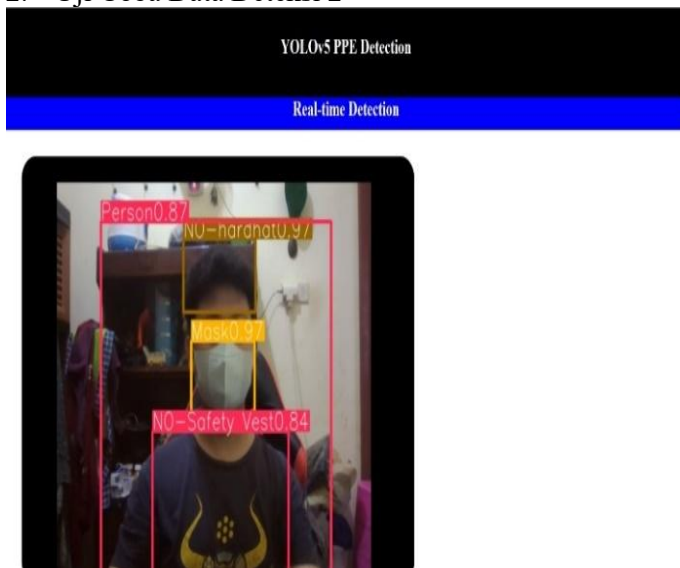
D. Hasil Pengujian Produk Pada Aplikasi Website

1. Uji Coba Data Deteksi 1



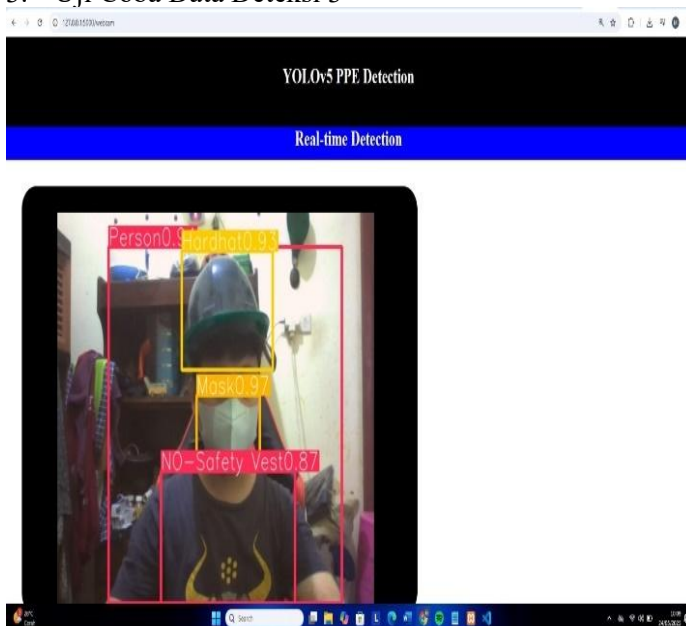
Terlihat gambar hasil deteksi real-time yang menunjukkan bounding box dan label: "Person" (0.91 / 91%), "Hardhat" (0.79 / 79%), "No Mask" (0.78 / 78%), dan "No Safety Vest" (0.92 / 92%). Keterangan: Deteksi tidak valid karena masker dan rompi tidak terdeteksi.

2. Uji Coba Data Deteksi 2



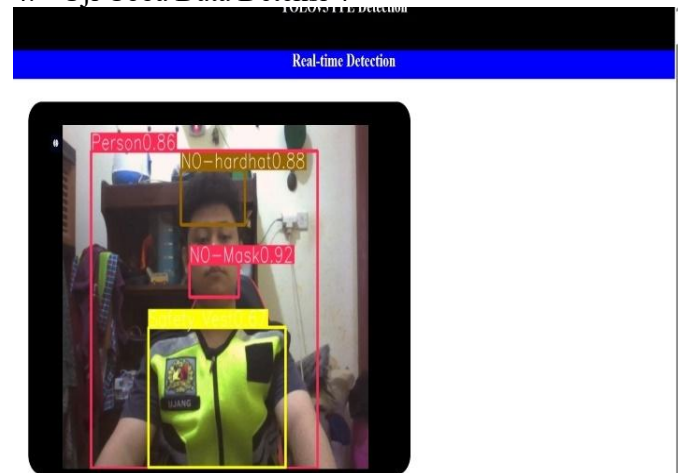
Gambar menunjukkan hasil deteksi real-time dengan bounding box dan label: "Person" (0.87 / 87%), "NO-Hardhat" (0.97 / 97%), "Mask" (0.97 / 97%), dan "No-Safety Vest" (0.84 / 84%).
 Keterangan: Deteksi tidak valid karena helm dan rompi tidak terdeteksi.

3. Uji Coba Data Deteksi 3



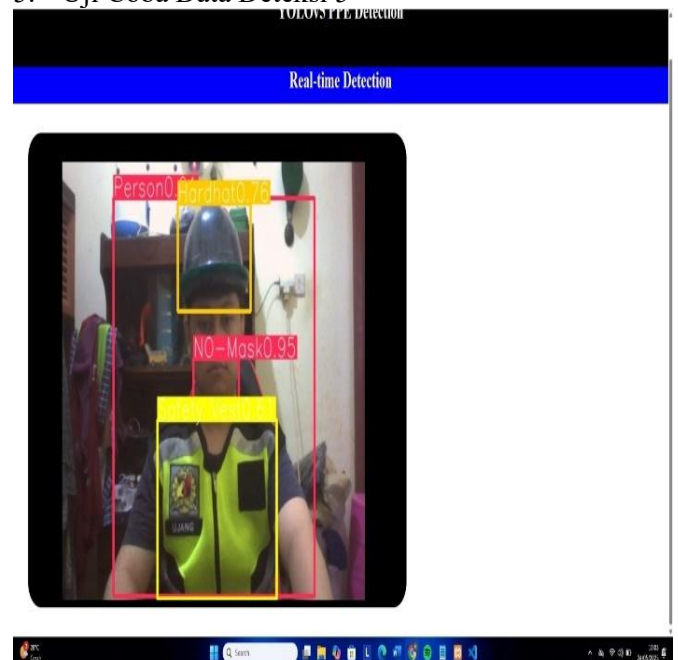
Gambar menampilkan hasil deteksi real-time dengan bounding box dan label: "Person" (0.93 / 93%), "Hardhat" (0.93 / 93%), "Mask" (0.97 / 97%), dan "No-Safety Vest" (0.87 / 87%).
 Keterangan: Deteksi tidak valid karena rompi tidak terdeteksi.

4. Uji Coba Data Deteksi 4



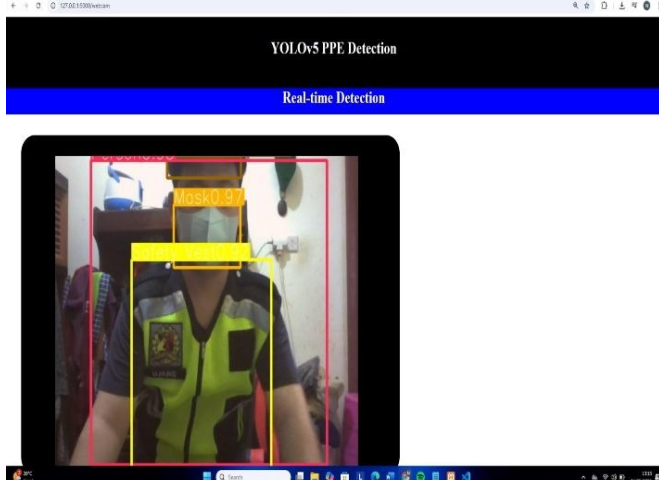
Gambar menunjukkan hasil deteksi real-time dengan bounding box dan label: "Person" (0.86 / 86%), "NO-Hardhat" (0.88 / 88%), "NO-Mask" (0.92 / 92%), dan "Safety Vest" (0.67 / 67%).
 Keterangan: Deteksi tidak valid karena helm dan masker tidak terdeteksi.

5. Uji Coba Data Deteksi 5



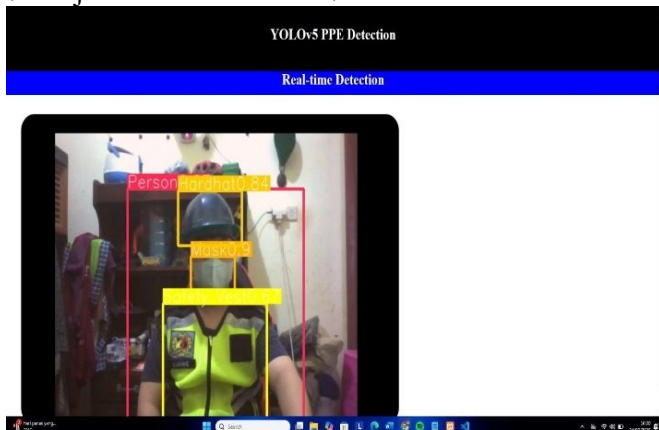
Gambar memperlihatkan hasil deteksi real-time dengan bounding box dan label: "Person" (0.76 / 76%), "Hardhat" (0.76 / 76%), "NO-Mask" (0.95 / 95%), dan "Safety Vest" (0.61 / 61%).
 Keterangan: Deteksi tidak valid karena masker tidak terdeteksi.

6. Uji Coba Data Deteksi 6



Gambar menampilkan hasil deteksi real-time dengan bounding box dan label: "Person" (0.98 / 98%), "Mask" (0.97 / 97%), dan "Safety Vest" (0.97 / 97%). Keterangan: Deteksi tidak valid karena helm tidak terdeteksi.

7. Uji Coba Data Deteksi 7



Gambar menunjukkan hasil deteksi real-time dengan bounding box dan label: "Person" (0.84 / 84%), "Hardhat" (0.84 / 84%), "Mask" (0.90 / 90%), dan "Safety Vest" (0.67 / 67%). Keterangan: Deteksi valid — semua APD (helm, masker, rompi) terdeteksi dengan benar.

IV. SIMPULAN DAN SARAN

A. Kesimpulan

Penelitian ini menyimpulkan bahwa pengembangan sistem deteksi Alat Pelindung Diri (APD) berbasis algoritma YOLOv5 telah berhasil diimplementasikan dan menunjukkan kinerja yang sangat baik dalam mendukung peningkatan keselamatan kerja di lingkungan pabrik. Sistem yang dirancang mampu mendeteksi berbagai jenis APD, seperti helm keselamatan (hardhat), rompi keselamatan (safety vest),

masker, serta objek pendukung lainnya secara akurat dan real-time. Kemampuan sistem dalam mengidentifikasi keberadaan maupun ketidakhadiran APD memungkinkan proses evaluasi kepatuhan pekerja dilakukan secara otomatis tanpa bergantung pada pengawasan manual yang memerlukan waktu, tenaga, dan sumber daya yang besar.

Berdasarkan hasil pengujian terhadap berbagai citra pekerja di lingkungan pabrik, model YOLOv5 menunjukkan performa deteksi yang stabil, konsisten, dan optimal. Model mampu mengenali kelas-kelas APD yang telah didefinisikan dengan baik, bahkan pada kondisi pencahayaan yang bervariasi, sudut pengambilan gambar yang berbeda, serta perbedaan warna dan bentuk APD. Hal ini menunjukkan bahwa model memiliki kemampuan generalisasi yang baik dan tingkat keandalan yang tinggi ketika diterapkan pada lingkungan kerja yang dinamis.

Selain berfungsi sebagai sistem deteksi visual, penelitian ini juga mengembangkan fitur pelaporan otomatis yang memungkinkan penyusunan laporan tingkat kepatuhan penggunaan APD secara harian. Fitur ini menjadikan sistem tidak hanya sebagai alat deteksi, tetapi juga sebagai perangkat pendukung keputusan bagi manajemen perusahaan dalam mengevaluasi dan meningkatkan keselamatan kerja. Dengan adanya data kepatuhan APD yang terekam secara otomatis, perusahaan dapat memantau tren kepatuhan pekerja serta mengidentifikasi potensi pelanggaran prosedur K3 secara lebih objektif.

Secara keseluruhan, penelitian ini membuktikan bahwa pemanfaatan teknologi artificial intelligence, khususnya algoritma deteksi objek YOLOv5, mampu memberikan solusi yang efektif, efisien, dan akurat dalam otomatisasi pengawasan penggunaan APD di lingkungan pabrik. Implementasi sistem ini diharapkan dapat berkontribusi secara signifikan dalam menurunkan risiko kecelakaan kerja serta memperkuat budaya disiplin penggunaan APD di area industri.

B. Saran

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, terdapat beberapa saran yang dapat dijadikan bahan pengembangan pada penelitian selanjutnya. Pertama, sistem deteksi APD ini dapat dikembangkan lebih lanjut dengan mengintegrasikannya secara langsung dengan sistem CCTV pabrik agar pemantauan dapat dilakukan secara menyeluruh dan berkelanjutan di berbagai area kerja tanpa memerlukan perangkat tambahan.

Kedua, penelitian selanjutnya disarankan untuk menambahkan fitur notifikasi real-time, seperti peringatan visual atau suara, ketika terdeteksi pekerja yang tidak menggunakan APD secara lengkap. Fitur ini diharapkan dapat meningkatkan kesadaran pekerja secara langsung serta mencegah terjadinya pelanggaran keselamatan kerja sebelum memasuki area berisiko.

Ketiga, pengembangan dashboard analitik keselamatan kerja juga disarankan agar data kepatuhan APD yang dihasilkan dapat divisualisasikan secara lebih informatif. Dashboard ini dapat membantu manajemen dalam melakukan analisis tren, evaluasi kebijakan K3, serta pengambilan keputusan berbasis data.

Terakhir, penelitian selanjutnya dapat memperluas jenis APD yang dideteksi serta meningkatkan jumlah dan variasi dataset pelatihan agar sistem memiliki tingkat akurasi dan generalisasi yang lebih tinggi ketika diterapkan pada berbagai kondisi industri yang berbeda.

DAFTAR PUSTAKA

- Aliman, W. (2021). Perancangan perangkat lunak untuk menggambar diagram berbasis Android. *Syntax Literate*, 6(6).
- Amrulloh, A., et al. (2023). Black box testing using the equivalence partitions technique to test the functionality of the Ternaku.id website. *Journal of Multimedia Trend and Technology*, 2(3), 172–178.
- Ardiansyah, A., & Effiyaldi, E. (2021). Analisis dan perancangan sistem informasi manajemen rumah sakit berbasis website pada Rumah Sakit Umum Kambang Kota Jambi. *Jurnal Manajemen Sistem Informasi*, 6(2), 188–197.
- Ashar, M. H., & Suarna, D. (2022). Implementasi algoritma YOLOv5 dalam mendeteksi penggunaan masker pada Kantor Biro Umum Gubernur Sulawesi Barat. *Kajian Ilmiah Informatika dan Komputer (KLIK)*, 3(3), 298–302.
- Azizah, D. N., Mahendar, I. A., Alfatih, M. F., Anwar, S. I., Alhapid, N. M., Wicaksono, A., & Mindara, G. P. (2024). Analysis and testing of the Combox web application system using black box testing with the equivalence partitioning method. *International Journal of Engineering, Economics, and Management in Computer Science*, 1(4), 38–45.
- Bhat, M. S., & Khan, F. (2023). A comparative study of black box and white box testing techniques in modern software development. *International Journal of Advanced Computer Science*.
- Dirgantara, M. R., Fikri, A., & Rinaldi, A. (2023). Pengenalan database management system (DBMS). *Madani: Jurnal Ilmiah Multidisiplin*, 1(6), 303–310.
- Fauzan, R., Siahaan, D., Rochimah, S., & Triandini, E. (2021). A different approach on automated use case diagram semantic assessment. *International Journal of Intelligent Engineering and Systems*, 14(1), 496–505.
- Fu'adi, A., & Prianggono, A. (2022). Analisis sistem dan perancangan aplikasi website international conference menggunakan UML. *In Search*, 23(1), 154–160.
- Hesananda, R., Noviani, I. A., & Zulfariansyah, M. (2024). Implementasi YOLOv5 untuk deteksi objek mesin EDC: Evaluasi dan analisis. *BIOS: Jurnal Teknologi Informasi dan Rekayasa Komputer*, 5(2), 104–110.
- Illmawati, & Hustinawati. (2024). Implementasi metode YOLOv5 dan Tesseract OCR untuk deteksi plat nomor kendaraan pada aplikasi Android. *Jurnal Ilmu Komputer dan Desain Komunikasi Visual*, 9(1), 426–432.
- Juanda, Z. S., Simbolon, Z. K., & Huzaeni, H. (2024). Mengintegrasikan metode YOLO (You Only Look Once) dalam deteksi APD (alat pelindung diri) pada industri migas. *eProceeding of TIK*, 4(1), 127–135.
- Kusuma, M. R., Abdillah, A. A., Junaedi, D., Azwardi, A., Liliana, D. Y., Arifin, S., & Muzakki, Z. (2022). Sistem deteksi alat pelindung diri di workshop alat berat Politeknik Negeri Jakarta menggunakan Teachable Machine. *Prosiding Seminar Nasional Teknik Mesin*, 2, 1785–1790.
- Laily, M. E., Fajri, F. N., & Pratamasunu, G. Q. O. (2022). Deteksi penggunaan alat pelindung diri (APD) untuk keselamatan dan kesehatan kerja menggunakan metode Mask Region Convolutional Neural Network (Mask R-CNN). *Jurnal Komputer Terapan*, 8(2), 279–288.
- Mulyana, D. I., & Rofik, M. A. (2022). Implementasi deteksi real time klasifikasi jenis kendaraan di Indonesia menggunakan metode YOLOv5. *Jurnal Pendidikan Tambusai*, 6(3), 13971–13982.
- Munawwaroh, J. I. (2023). Deteksi penggunaan alat pelindung diri (APD) untuk monitoring K3 (keselamatan dan kesehatan kerja) menggunakan metode You Only Look Once (YOLO) (Doctoral dissertation, Universitas Nurul Jadid).
- Nurfirmsyah, A., & Dijaya, R. (2022, August). Deteksi kelalaian alat pelindung diri (APD) pada pekerja konstruksi bangunan. *Prosiding SEMNAS INOTEK*, 6(1), 058–063.
- Paletan, D., Hamsir, H., & Rostina, R. (2020). Hubungan pengetahuan dan sikap pekerja pengangkut sampah dengan penggunaan alat pelindung diri (APD) di Kota Makassar. *Sulolipu: Media Komunikasi Sivas Akademika dan Masyarakat*, 20(2), 192–198.
- Palupi, L., Ihsanto, E., & Nugroho, F. (2023). Analisis validasi dan evaluasi model deteksi objek varian jahe menggunakan algoritma YOLOv5. *Journal of Information System Research (JOSH)*, 5(1), 234–241.

- Pane, S. Y. K., Ramadhan, N. G., & Adhinata, F. D. (2022). Perancangan basis data menggunakan normalisasi tabel pada perusahaan dagang Barokah Abadi. *Journal of Dinda: Data Science, Information Technology, and Data Analytics*, 2(2), 90–96.
- Pratama, Y. (2023). Implementasi arsitektur microservices pada lingkungan cloud. *Universitas Islam Negeri Syarif Hidayatullah Jakarta*.
- Pulungan, S. M., Febrianti, R., Lestari, T., Gurning, N., & Fitriana, N. (2022). Analisis teknik entity-relationship diagram dalam perancangan database. *Jurnal Ekonomi Manajemen dan Bisnis*, 1(2), 1–10.
- Putri, S. M., & Hasanah, A. (2021). Deteksi anomali menggunakan machine learning. *Jurnal Ilmiah Komputer dan Informatika*, 5(1), 45–52.
- Rahmah, N. Z. A. A., Indarti, R., Putra, Z. M. A., Setiawan, E., & Arfianto, A. Z. (2024). Implementasi deteksi kelengkapan APD pada hazardous area menggunakan metode YOLOv5. *Jurnal Elektronika dan Otomasi Industri*, 11(3).
- Ramadhan, A. M., & Cahyono, E. F. (2022). Klasifikasi jenis monyet menggunakan YOLOv5. *Jurnal Teknologi dan Sistem Komputer*, 10(1), 45–52.
- Ramadhan, R. F., & Mukhaiyar, R. (2020). Penggunaan database MySQL dengan interface phpMyAdmin sebagai pengontrolan smarthome berbasis Raspberry Pi. *JTEIN: Jurnal Teknik Elektro Indonesia*, 1(2), 129–134.
- Rudianto, A. M. A., Pramukantoro, E. S., & Kurnianingtyas, D. (2025). Implementasi sistem deteksi anomali pada jaringan komputer dengan pendekatan XGBoost dan data SNMP. *Jurnal Pengembangan Teknologi Informasi dan Ilmu Komputer*, 9(2).
- Sabbrina, A., Sufa, A. O., Ritonga, D. P., Siregar, E. R. S., & Nurbaiti. (2023). Pengenalan konsep dasar dan penggunaan database manajemen sistem (DBMS). *Jurnal Sains dan Teknologi (JSIT)*, 3(3), 224–232.
- Saeful, A. (2023). Sistem deteksi alat pelindung diri pada (APD) lingkungan industri menggunakan algoritma YOLOv8 berbasis website (Doctoral dissertation, Universitas Amikom Purwokerto).
- Salih, Y., & Saefullah, R. (2024). Black box testing on website-based guestbook registration applications. *International Journal of Mathematics, Statistics, and Computing*, 2(2), 44–49.
- Santoso, H. (2023). Pengertian aplikasi sebagai kelompok file untuk kegiatan tertentu. *Jurnal Media Informatika*, 5(1), 45–52.
- Saputra, M. C., & Katayama, T. (2021). Proposal of a method to measure test suite quality attributes for white-box testing. *International Journal of Advanced Computer Science and Applications*, 12(5).
- Wijanarko, B. D., Lestari, A., & Arifin, Z. (2024). Evaluasi User Experience (UX) pada Learning Management System menggunakan metode UEQ. *Jurnal Sistem Informasi Bisnis*, 12(1), 45–52.