

Pembelajaran Mesin Untuk Deteksi Helm Keselamatan Menggunakan Algoritma YOLOv8

Namri Fatkhin¹⁾, Akhmad Fadjeri²⁾

¹⁾ Teknik Informatika, Universitas Ma'arif Nahdlatul Ulama Kebumen

²⁾ Teknik Informatika, Universitas Ma'arif Nahdlatul Ulama Kebumen

¹⁾ nfatkhin66@gmail.com, ²⁾ fadjeri.akhmadfadjeri@gmail.com

ABSTRACT

Implementation of Occupational Safety and Health (K3) in construction projects is an effort to create a safe and healthy work environment, free from work accidents and work-related diseases. Based on the International Labor Organization (ILO) report in 2019, more than 395 million workers worldwide experienced non-fatal work injuries. In Indonesia, BPJS Employment reported 370,747 work accident cases in 2023, with an increase of 19.7% from the previous year. As many as 32.12% of these incidents were caused by not using personal protective equipment (APD), including safety helmets. This research aims to build a model through machine learning to automatically detect the use of safety helmets using the YOLOv8 algorithm. The YOLO algorithm is known to have good detection speed and is suitable for complex construction environments. The model evaluation results show that Average Precision reached 78% for all classes, 82% for the APD class, 72% for the non-APD class, and 80% for the non-safety class. The resulting precision value was 77.7% and the recall value was 60.7%, with a mAP (mean Average Precision) level reaching 68.9%. The model training time lasted 1 hour 7 minutes.

Keywords: *You Only Look Once, Object detection, personal protective equipment, safety helmets*

I. PENDAHULUAN

Pelaksanaan Keselamatan dan Kesehatan Kerja (K3) pada proyek konstruksi merupakan bentuk upaya untuk menciptakan lingkungan kerja yang lebih aman, sehat, dan sejahtera, bebas dari kecelakaan kerja dan penyakit akibat kerja serta bebas pencemaran lingkungan menuju peningkatan produktivitas seperti yang tertera pada Undang-Undang No.1 Tahun 1970 tentang Keselamatan Kerja. Berdasarkan laporan International Labour Organization (ILO), pada tahun 2019 tercatat lebih dari 395 juta pekerja di seluruh dunia mengalami cedera kerja yang tidak fatal. Di Indonesia sendiri, jumlah kasus kecelakaan kerja tahun 2023 tercatat sebanyak 370.747 kasus seperti dilaporkan oleh BPJS Ketenagakerjaan dalam program JKK (Jaminan Kecelakaan Kerja). Sedangkan pada tahun 2023 mengalami kenaikan sebesar 19,7%. BPJS Ketenagakerjaan juga menerangkan bahwa dari total kejadian, 34,43% kecelakaan kerja dikarenakan tindakan tidak aman, 32,12% dikarenakan tidak memakai APD, dan sisanya dikarenakan kesalahan manusia yang menyebabkan kerugian baik material maupun moral. Penelitian terdahulu juga menunjukkan bahwa jatuh dari ketinggian, terpeleset, dan tertabrak merupakan jenis utama dari cedera di sektor konstruksi (Putri & Lestari, 2023).

Penggunaan APD (alat pelindung diri) penting dilakukan untuk mengurangi risiko paparan atau paparan bahaya. Salah satu APD yang selalu menjadi nomor pertama dan selalu diwajibkan adalah helm keselamatan. Ada banyak faktor yang menyebabkan para pekerja tidak patuh menggunakan helm keselamatan meskipun perusahaan sudah menyediakan APD dan membuat peraturannya. Salah satu faktor yang menjadi penyebab tidak patuhnya pekerja dalam menggunakan helm keselamatan adalah faktor pengawasan (Iskandar, 2022). Sehingga perlu adanya pengawasan melalui pendeteksian secara otomatis untuk penggunaan APD, khususnya helm keselamatan yang baik dan benar.

Berdasarkan penjelasan tersebut, untuk meningkatkan standar keselamatan dan kesehatan kerja (K3) dalam proyek-proyek konstruksi, berbagai teknik deteksi helm

keselamatan telah dirancang dan diuji coba. Algoritma YOLO lebih umum dan lebih sering digunakan dalam deteksi helm keselamatan daripada algoritma-algoritma lain. Algoritma ini memiliki kecepatan deteksi yang lebih baik dan lebih sesuai dengan skenario aktual seperti lingkungan konstruksi (Zhang et al., 2022). Algoritma YOLO versi lebih baru pernah digunakan dalam penelitian untuk membuat deteksi helm keselamatan. Hasil penelitian menggunakan YOLOv8 versi ditingkatkan menunjukkan tingkat *robustness* yang lebih kuat, mencapai tingkat akurasi sebesar 94,6% dan mAP50 sebesar 99,1% dalam skenario konstruksi yang kompleks, dengan waktu inferensi sebesar 0,7 ms (Bao et al., 2023).

Mengingat keunggulan algoritma ini, penelitian ini akan menerapkan algoritma YOLOv8 untuk mendeteksi penggunaan helm keselamatan. Tujuannya adalah untuk menghasilkan model yang tidak hanya akurat tetapi juga efisien dalam hal waktu pemrosesan, sehingga hasil eksperimen ini diharapkan bisa menjadi pertimbangan untuk perkembangan teknologi deteksi secara *real-time* di lingkungan konstruksi yang kompleks.

II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Helm Keselamatan

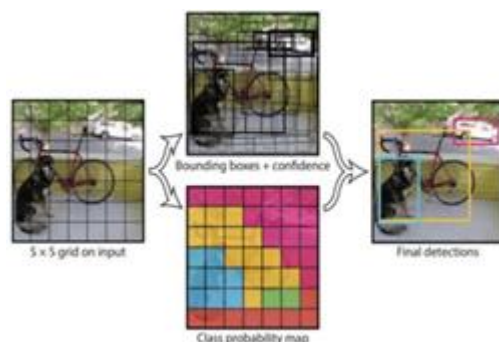
Helm keselamatan (*safety helmet*) adalah alat untuk melindungi kepala dari kemungkinan tertimpa benda jatuh, melindungi kepala akibat benturan benda atau pukulan. Helm keselamatan juga berguna sebagai pelindung kepala dari panas dan sengatan matahari (Putri & Lestari, 2023). Helm keselamatan merupakan salah satu Alat Perlindungan Diri (APD) seperti diatur dalam Peraturan Menteri Tenaga Kerja dan Transmigrasi No. Per.11/Men/VII/2011 tentang Alat Pelindung Diri (APD) pada Tempat Kerja.

2.2 Artificial Intelligence

Artificial Intelligence atau kecerdasan buatan adalah bidang ilmu dari ilmu komputer (teknologi) yang meniru perilaku manusia (Erick et al., 2024). *Artificial Intelligence* merupakan hasil inovasi manusia yang dapat ditanamkan pada mesin, sehingga mesin mampu memahami dan melakukan tugas-tugas yang biasanya dilakukan oleh manusia. *Artificial Intelligence* atau kecerdasan buatan komputer akan dilatih untuk berperilaku layaknya cara berpikir manusia. *Artificial Intelligence* merupakan bidang yang sangat luas, mencakup *Machine Learning* (ML) dan *Deep Learning* (DL) (Tsimenidis et al., 2022).

2.3 Algoritma YOLO

You Only Look Once (YOLO) adalah sebuah algoritma yang dirancang untuk mendeteksi objek secara *real-time*. YOLO mendeteksi objek menggunakan *unified model*, dimana *single convolutional network* secara bersamaan memprediksi beberapa kotak pembatas (*bounding box*) dan probabilitas kelas dalam kotak tersebut. Algoritma ini diterapkan dengan menggunakan gambar yang disediakan dan segera mencari metode terbaik untuk mengolahnya. Berbeda dengan pendekatan yang berbasis pada *classifier*, YOLO dilatih pada fungsi kerugian yang secara langsung berkaitan dengan kinerja deteksi, dan seluruh model dilatih secara bersamaan (Hadi Supriyanto et al., 2024). YOLO telah berkembang melalui beberapa versi, dengan setiap versi baru biasanya menawarkan peningkatan dalam akurasi dan kecepatan (Kim et al., 2023).



Gambar 1. Cara Kerja *Bounding Box*

2.4 Google Colaboratory

Google Colaboratory dirancang untuk membantu para peneliti dalam mengolah data, khususnya dalam konteks *machine learning*. Fungsionalitasnya mirip dengan *Jupyter Notebook* karena dibangun di atas lingkungan *Jupyter*. Salah satu keunggulan utama *Google Colaboratory* adalah integritasnya dengan *Google Drive*, yang memungkinkan penyimpanan berbasis *cloud*. Selain itu, *Google Colaboratory* menawarkan layanan GPU gratis yang dapat digunakan sebagai *backend* komputasi dan dapat diakses hingga 12 jam dalam satu waktu (Pane & Rahmadani, 2020).

2.5 Kecepatan Waktu Pelatihan

Kecepatan waktu pelatihan merupakan durasi yang dibutuhkan untuk melatih model *machine learning* atau *deep learning* dan biasanya diukur dalam satuan waktu (detik, menit, jam, dan lain-lain). Ukuran gambar dan parameter dapat mempengaruhi hasil dan waktu proses pelatihan. Seperti contoh, penggunaan *epoch* yang besar dapat meningkatkan akurasi namun juga dapat menyebabkan *overfitting* serta membuat proses *training* data menjadi semakin lama (Amanda Putri et al., 2023).

2.6 Penelitian Terdahulu

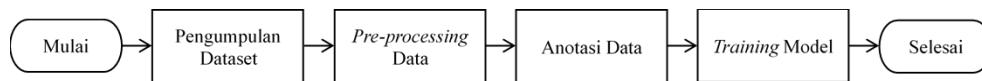
Penelitian tentang deteksi helm pernah dilakukan oleh (Ji et al., 2022) menggunakan YOLO, yaitu YOLOv4. Algoritma YOLOv4 yang dikombinasikan dengan jaringan *MobileNet* ini bisa mencapai hasil yang baik dalam hal akurasi dan kecepatan. Dalam penelitian lain, YOLOv5 digunakan untuk mendeteksi APD dalam sebuah aplikasi dan hasil kinerja sistem tersebut di atas 90% untuk setiap metriknya (Taufiqurrochman & Februriyanti, 2024). Sementara itu, algoritma lain seperti *Mask R-CNN* pernah diterapkan dalam deteksi helm keselamatan yang dikombinasikan dengan model jaringan *ResNet*. Hasil kinerja terbaiknya mencapai 88,60% untuk metrik JAC dan rata-rata mAP mencapai 73,01% (Mathur & Jain, 2023). Selain itu, dalam penelitian (Long et al., 2019), algoritma SSD (*Single Shot Detector*) digunakan dan hasil eksperimen mencapai tingkat akurasi sebesar 70,8% dan IoU 0,5.

III. METODE PENELITIAN

3.1 Jenis Penelitian

Pada penelitian ini, diterapkan pendekatan model *prototyping*. Sebagai model pengembangan perangkat lunak, *prototyping* berfungsi sebagai versi awal dari suatu sistem. Model *prototyping* setidaknya memiliki empat tahapan dimulai dari tahapan pengumpulan kebutuhan untuk mengidentifikasi garis besar kebutuhan dasar dari sistem yang akan dibuat, dilanjutkan proses desain sistem, pembangunan prototipe, dan evaluasi juga perbaikan (Purnomo, 2017). Pembuatan sistem deteksi helm keselamatan ini

menggunakan algoritma YOLO (*You Only Look Once*). Gambar 2 adalah tahapan penelitian yang digunakan dalam pembuatan sistem tersebut.



Gambar 2. Tahapan Penelitian

Berikut ini adalah penjelasan untuk tahapan penelitian di atas.

a. Pengumpulan *Dataset*

Dataset berupa citra yang terdiri dari gambar objek manusia menggunakan helm keselamatan dan objek manusia yang tidak menggunakan helm keselamatan. Untuk objek kedua, diperinci lagi menjadi objek manusia yang menggunakan non-helm keselamatan dan objek manusia yang tidak menggunakan helm atau pelindung kepala sama sekali. Keberagaman *dataset* juga diperlukan untuk meningkatkan *robustness* model yang dilatih.

b. *Pre-processing* Data

Berdasarkan kebutuhan, *pre-processing* data diperlukan untuk mempersiapkan data agar memiliki kualitas yang lebih baik dalam proses ekstraksi fitur (Fadjeri, 2023). Selain itu, *pre-processing* juga digunakan untuk meningkatkan jumlah data dan membantu model belajar fitur yang lebih umum. *Pre-processing* bisa meliputi normalisasi dan augmentasi data. Normalisasi biasanya melibatkan penyesuaian skala nilai piksel gambar. Sedangkan augmentasi melibatkan pembuatan variasi gambar melalui rotasi, *flipping*, *scaling*, *cropping*, dan lain-lain. *Pre-processing* data dilakukan dengan menyesuaikan kebutuhan model YOLO yang dilatih.

c. Anotasi Data

Proses anotasi data merupakan proses memberikan label pada *dataset* gambar yang sudah terkumpul. Anotasi ini biasanya berupa *bounding box* yang menandai lokasi objek. Anotasi diperlukan sebelum implementasi terhadap metode yang digunakan, hal ini bertujuan agar model dapat dilatih dengan baik dari data anotasi yang ada, sehingga lebih mudah dalam mengenali objek yang diinginkan. Proses anotasi bisa dilakukan menggunakan aplikasi *labelling* yang tersedia seperti, *LabelImg*, atau situs *online* seperti *Roboflow* dan *makesense.ai* (Laily et al., 2022).

d. Pelatihan Model (*Training*)

Proses training data dengan model YOLOv8 dilakukan menggunakan *Google Colaboratory* yang tersambung *Google Drive*. Proses diawali dengan memuat *dataset* yang sudah dianotasi sebelumnya dan dilanjutkan dengan memuat model YOLOv8. Langkah berikutnya adalah memuat *pretrained weights* dari model tersebut. Kemudian, *loss function* ditentukan dan *optimizer* diinisialisasi. Selama siklus pelatihan, *dataset* akan diproses secara berkala berdasarkan jumlah *epoch* yang digunakan untuk meningkatkan kinerja model. Sementara keluaran yang diharapkan pada proses ini yaitu konfigurasi data *weights* yang bisa digunakan untuk melakukan pengujian di penelitian selanjutnya.

3.2 Teknik Pengumpulan Data

Sebelum membuat sebuah program, peneliti mengumpulkan data yang akan diolah dan dijadikan bahan penelitian yang bisa bersumber dari internet maupun kamera ponsel (Fadjeri, Asroriyah, et al., 2022). Data yang diperlukan dalam penelitian ini berasal dari beberapa sumber berikut ini:

a. *Dataset* gambar helm keselamatan

Data utama yang digunakan dalam penelitian ini adalah objek helm keselamatan yang dikenakan. Data ini diperoleh dari internet melalui berbagai situs *online* yang menyediakan *dataset*. Dua situs yang menjadi sumber utama data adalah *Kaggle* dan *Roboflow*.

b. Pengumpulan data secara langsung di lokasi

Dataset diperoleh melalui pengumpulan data secara langsung di lokasi. Ini bisa dilakukan dengan berbagai metode, tergantung pada sumber dan jenis data yang diperlukan. Salah satu cara yang paling umum adalah melalui penggunaan kamera CCTV yang dipasang di lokasi konstruksi. Kamera-kamera ini dapat merekam video secara *real-time* dan menghasilkan gambar yang dapat digunakan sebagai data dalam penelitian ini. Selain itu, gambar juga bisa diambil secara manual oleh peneliti menggunakan kamera ponsel.

c. Augmentasi data

Untuk meningkatkan jumlah dan variasi *dataset* dalam penelitian ini, teknik lain yang bisa digunakan adalah augmentasi data. Augmentasi data adalah proses di mana gambar asli dimodifikasi untuk menciptakan variasi baru dari gambar tersebut. Ada berbagai metode augmentasi yang bisa digunakan, termasuk rotasi (memutar gambar pada sudut tertentu), *flipping* (membalik gambar secara horizontal atau vertikal), *scaling* (mengubah ukuran gambar), *cropping* (memotong bagian tertentu dari gambar), dan *blurring* (menghaluskan citra) (Fadjeri, Saputra, et al., 2022). Metode-metode ini dapat digunakan secara individu atau kombinasi untuk menciptakan variasi yang lebih besar dalam *dataset* (Kumar et al., 2023).

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Pengumpulan *Dataset*

Dataset terdiri dari gambar objek orang menggunakan helm keselamatan, orang yang menggunakan non-helm keselamatan, dan orang yang tidak menggunakan helm atau pelindung kepala sama sekali. Sementara sumber *dataset* berasal dari tiga cara yaitu:

a. Situs Penyedia *Dataset*

Dari situs *Kaggle*, diperoleh 256 gambar dengan rincian 87 gambar orang menggunakan helm keselamatan, 85 gambar orang menggunakan non-helm keselamatan, dan 84 gambar orang tidak menggunakan helm sama sekali.

b. Pengumpulan *Dataset* di Lokasi

Sedangkan dari pengambilan langsung di lokasi, peneliti memilih lokasi konstruksi perbaikan jalan di wilayah Kabupaten Kebumen yang sedang berlangsung. Dari cara ini, diperoleh 64 gambar dengan rincian 27 gambar orang menggunakan helm keselamatan, 19 gambar orang menggunakan non-helm keselamatan, dan 18 gambar orang tidak menggunakan helm sama sekali.

c. Augmentasi Data

Augmentasi data biasanya dilakukan sebelum pelatihan model. Dengan menambah variasi dan jumlah data dalam *dataset*, model dapat belajar lebih baik dan menjadi lebih *robust* terhadap variasi dalam dunia nyata. Proses ini dilakukan jika diperlukan pada tahap selanjutnya, yaitu *pre-processing* data.

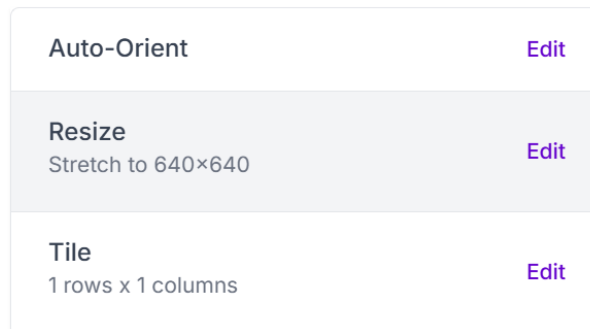
Jumlah *dataset* secara keseluruhan dari semua sumber yang digunakan adalah 320 gambar dengan rincian seperti pada Tabel 1. Ini belum termasuk penambahan dari hasil augmentasi data. *Dataset* ini terbagi ke dalam tiga kelas, yaitu APD, non-APD, dan non-*safety*. Pembagian kelas ini diperlukan untuk proses anotasi *dataset*.

Tabel 1. Sampel *Dataset*

Kelas	Jumlah
APD	114
Non-APD	104
Non-safety	102

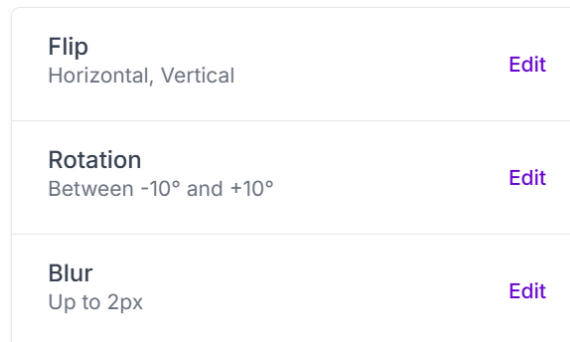
4.2 *Pre-processing* Data

Pada tahap ini, gambar *dataset* dilakukan normalisasi dan augmentasi untuk meningkatkan variasi dan jumlah data agar model bisa belajar fitur yang lebih umum. Normalisasi meliputi *resize* data menjadi ukuran 640x640 dan fitur *tile* untuk membagi citra ke dalam ukuran 1 baris x 1 kolom untuk memvisualisasikan gambar dalam bentuk grid terstruktur sehingga semakin memudahkan melihat variasi pada *dataset*.



Gambar 3. Jenis Normalisasi Data

Sementara augmentasi meliputi *rotation* antara -10° dan $+10^\circ$, *flip* secara horizontal dan vertikal, dan *blur* sebanyak 2px seperti yang tertera pada Gambar 4.



Gambar 4. Jenis Augmentasi Data

Proses ini melibatkan tiga jenis normalisasi dan tiga jenis augmentasi menggunakan *tools Roboflow*. Setelah proses ini dilakukan, total *dataset* bertambah menjadi 768 gambar.

4.3 Anotasi Data

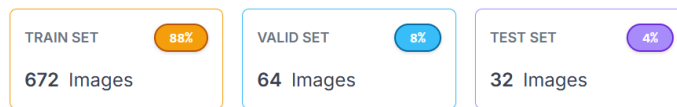
Pada tahap ini gambar diberikan anotasi secara satu per satu yang dibagi menjadi tiga kelas berbeda. Kelas ini meliputi kelas untuk APD, kelas untuk non-APD, dan kelas untuk non-safety. Proses pemberian anotasi atau label ini menggunakan *tools LabelImg* dan jenis anotasi yang digunakan adalah *bounding box*. Hasil anotasi atau label dari setiap gambar disimpan ke dalam file berformat *.txt*.



Gambar 5. Proses Anotasi Data

Pada Gambar 5, sebelah kiri adalah sampel anotasi gambar tiga orang masing-masing menggunakan helm keselamatan terlihat dari depan dan samping, yang diberi label atau kelas APD. Sedangkan gambar paling tengah adalah sampel anotasi gambar orang menggunakan penutup kepala bukan helm keselamatan terlihat dari depan dan diberi label non-APD. Sementara gambar sebelah kanan adalah sampel anotasi gambar orang tidak menggunakan penutup atau pelindung kepala terlihat dari depan dan diberi label non-safety.

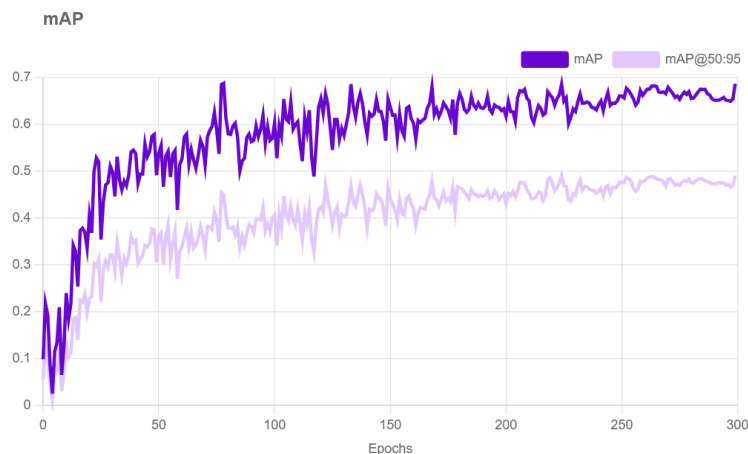
Setelah semua *dataset* selesai diberikan anotasi, *dataset* dibagi ke dalam tiga kelompok atau folder (Gambar 6) yang terdiri atas 88% set pelatihan (*training*) dengan total 672 gambar, 8% set validasi (*validation*) dengan total 64 gambar, dan 4% set pengujian (*testing*) dengan total 32 gambar. Hal ini untuk mempersiapkan data sebelum memasuki proses pelatihan model.



Gambar 6. Pembagian *Dataset*

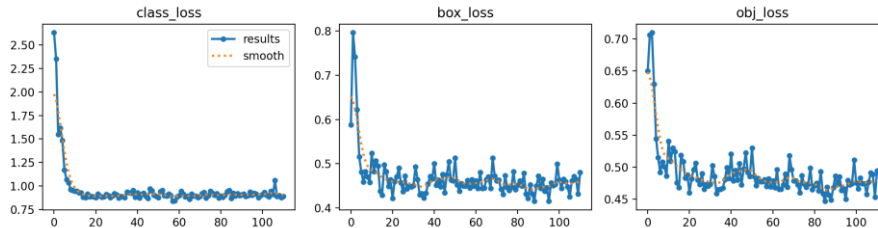
4.4 Pelatihan Model (*Training*)

Pelatihan model dilakukan untuk mendapatkan parameter atau bobot yang bisa digunakan untuk proses deteksi. Pada tahap ini, digunakan algoritma YOLOv8 dan perangkat *Google Colaboratory* sebagai *tools* untuk melatih model deteksi ini. Proses pelatihan menghasilkan sebuah model baru untuk mendeteksi helm keselamatan menggunakan algoritma YOLOv8 dengan iterasi sebanyak 300 *epoch*. Grafik pada gambar 7 di bawah ini menunjukkan jika model terus belajar dari awal iterasi dan kinerjanya meningkat dengan jumlah *epoch* yang bertambah.



Gambar 7. Hasil Pelatihan YOLOv8

Hasil evaluasi pada gambar 8 menunjukkan bahwa model memiliki nilai *box loss* sebesar 0,415, yang mengindikasikan tingkat kesalahan prediksi *bounding box*. Selain itu, nilai *class loss* sebesar 0,86 menunjukkan akurasi deteksi klasifikasi helm keselamatan, sedangkan nilai *object loss* sebesar 0,446 mencerminkan kemampuan model dalam mendeteksi keberadaan objek helm keselamatan di dalam gambar.



Gambar 8. Nilai *Training Loss*

Perhitungan kinerja model menggunakan *Average Precision* untuk semua kelas sebesar 78%, sedangkan untuk masing-masing kelas yaitu sebesar 82% untuk kelas APD, sebesar 72% untuk kelas non-APD, dan sebesar 80% untuk kelas non-*safety*. Sementara nilai presisi yang dihasilkan sebesar 77,7% dan nilai *recall* sebesar 60,7%. Model ini juga mencapai tingkat mAP (*mean Average Precision*) hingga 68,9%. Waktu pelatihan model ini berlangsung selama 1 jam 7 menit.

Tabel 2. *Average Precision* per Kelas

Kelas	Nilai <i>Average Precision</i>
Semua	78%
APD	82%
Non-APD	72%
Non- <i>safety</i>	80%

V. KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan tahapan yang telah dilakukan, maka dapat disimpulkan beberapa hal sebagai berikut:

- Penelitian ini mengkaji pembelajaran mesin untuk melatih model YOLOv8 dalam mendeteksi objek helm keselamatan, yang dilakukan menggunakan *Google Colaboratory* dengan bahasa pemrograman *Python*.
- Hasil pelatihan menunjukkan nilai *average precision* sebesar 78% untuk semua kelas, 82% untuk kelas APD, 72% untuk non-APD, dan 80% untuk non-*safety*.
- Metrik evaluasi presisi mencapai 77,7%, nilai *recall* sebesar 60,7%, dan mAP mencapai 68,9% dengan waktu yang berlangsung selama 1 jam 7 menit untuk pelatihan model.

5.2 Saran

Saran yang diberikan sebagai acuan untuk pengembangan model dalam penelitian yang akan datang antara lain:

- Menambah *dataset* yang bervariasi untuk tiap kelas pada pelatihan model sehingga bisa meningkatkan akurasi prediksi dari model yang dibangun.
- Melakukan pengujian secara *real-time* dengan menerapkan metrik evaluasi untuk menilai kinerja model deteksi lebih dalam.
- Mengimplentasikan model ke dalam aplikasi maupun *website* agar bisa diterapkan di lingkungan konstruksi yang nyata.

DAFTAR PUSTAKA

- Amanda Putri, S., Ramadhan, G., Alwildan, Z., Irwan, I., & Afriansyah, R. (2023). Perbandingan Kinerja Algoritma YOLO Dan RCNN Pada Deteksi Plat Nomor Kendaraan. *Jurnal Inovasi Teknologi Terapan*, 1(1), 145–154. <https://doi.org/10.33504/jitt.v1i1.30>
- Bao, J., Li, S., Wang, G., Xiong, J., & Li, S. (2023). Improved YOLOV8 Network and Application in Safety Helmet Detection. *Journal of Physics: Conference Series*, 2632(1). <https://doi.org/10.1088/1742-6596/2632/1/012012>
- Erick, B., Akhmad, F., & Ibnu Prasetyo, W. (2024). Application of Naive Bayes Algorithm for Physical Fitness Level Classification. *International Journal of Disabilities Sports and Health Sciences*, 7(1), 178–187. <https://doi.org/10.33438/ijdshts.1330745>
- Fadjeri, A. (2023). Klasifikasi Biji Kopi Berdasarkan Bentuk Menggunakan Image Processing dan K-NN. *Jurnal Ilmiah SINUS*, 21(2), 55. <https://doi.org/10.30646/sinus.v21i2.726>
- Fadjeri, A., Asroriyah, A. M., & Rahmawati, A. (2022). Analisis Teks Bahasa Indonesia Dan Inggris Dari Sebuah Citra Menggunakan Pengolahan Citra Digital. *Jurnal Teknologi Informasi Dan Komunikasi (TIKOMSiN)*, 10(2), 42. <https://doi.org/10.30646/tikomsin.v10i2.650>
- Fadjeri, A., Saputra, B. A., Adri Ariyanto, D. K., & Kurniatin, L. (2022). Karakteristik Morfologi Tanaman Selada Menggunakan Pengolahan Citra Digital. *Jurnal Ilmiah SINUS*, 20(2), 1. <https://doi.org/10.30646/sinus.v20i2.601>
- Hadi Supriyanto, Sarosa Castrena Abadi, & Aliffa Shalsabilah. (2024). Deteksi Helm Keselamatan Menggunakan Jetson Nano dan YOLOv7. *Journal of Applied Computer Science and Technology*, 5(1), 1–8. <https://doi.org/10.52158/jacost.v5i1.637>
- Ji, Y., Cao, Y., Cheng, X., & Zhang, Q. (2022). Research on the Application of Helmet Detection Based on YOLOv4. *Journal of Computer and Communications*, 10(08), 129–139. <https://doi.org/10.4236/jcc.2022.108009>
- Kim, K., Kim, K., & Jeong, S. (2023). Application of YOLO v5 and v8 for Recognition of Safety Risk Factors at Construction Sites. *Sustainability*, 15(20), 15179. <https://doi.org/10.3390/su152015179>
- Kumar, T., Mileo, A., Brennan, R., & Bendeche, M. (2023). *Image Data Augmentation Approaches: A Comprehensive Survey and Future directions*. 6223. <https://doi.org/10.48550/arXiv.2301.02830>
- 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. <https://doi.org/10.35143/jkt.v8i2.5732>
- Long, X., Cui, W., & Zheng, Z. (2019). Safety Helmet Wearing Detection Based On Deep Learning. *2019 IEEE 3rd Information Technology, Networking, Electronic and Automation Control Conference (ITNEC)*, 2495–2499. <https://doi.org/10.1109/ITNEC.2019.8729039>
- Mathur, S., & Jain, T. (2023). Segmenting Personal Protective Equipment Using Mask R-CNN. *2023 11th International Conference on Internet of Everything, Microwave Engineering, Communication and Networks (IEMECN)*, 1–6. <https://doi.org/10.1109/IEMECN56962.2023.10092308>
- Pane, S. F., & Rahmadani, E. V. (2020). *Big Data: Forecasting Menggunakan Python*. Kreatif. <https://books.google.co.id/books?id=DCjZDwAAQBAJ>
- Purnomo, D. (2017). Model Prototyping. *JIMP-Jurnal Informatika Merdeka Pasuruan*, 2(2), 54–61.
- Putri, D. N., & Lestari, F. (2023). Analisis penyebab kecelakaan kerja pada pekerja di

- proyek konstruksi : Literatur review. *Jurnal Kesehatan Masyarakat*, 7(1), 451–452.
- Taufiqurrochman, M. A., & Februariyanti, H. (2024). Rancang Bangun Aplikasi Deteksi Alat Pelindung Diri (APD) untuk Pekerja Proyek dengan Menggunakan Algoritma YOLOv5. *Jurnal JTik (Jurnal Teknologi Informasi Dan Komunikasi)*, 8(2), 471–480. <https://doi.org/10.35870/jtik.v8i2.1960>
- Tsimenidis, S., Vrochidou, E., & Papakostas, G. A. (2022). Omics Data and Data Representations for Deep Learning-Based Predictive Modeling. *International Journal of Molecular Sciences*, 23(20). <https://doi.org/10.3390/ijms232012272>
- Zhang, B., Sun, C. F., Fang, S. Q., Zhao, Y. H., & Su, S. (2022). Workshop Safety Helmet Wearing Detection Model Based on SCM-YOLO. *Sensors*, 22(17). <https://doi.org/10.3390/s22176702>