

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

V.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil pengumpulan data, pelatihan model, evaluasi kinerja, dan implementasi model *YOLOv11s* untuk mendeteksi karat pada knalpot kendaraan bermotor, maka dapat disimpulkan hal-hal sebagai berikut :

1. Model *YOLOv11s* berhasil diimplementasikan untuk mendeteksi karat pada knalpot kendaraan bermotor melalui dua skrip Python, yaitu *novel.py* untuk deteksi gambar dan *novel_video.py* untuk deteksi video. Sistem secara otomatis membedakan knalpot normal dan berkarat, serta menampilkan nilai tekstur GLCM pada setiap objek berkarat yang terdeteksi, sehingga dapat mendukung efisiensi pemeriksaan visual kondisi knalpot dalam proses pengujian berkala kendaraan bermotor.
2. Kinerja model *YOLOv11s* dalam mendeteksi karat pada knalpot menunjukkan hasil yang baik. Evaluasi matriks pelatihan menunjukkan nilai loss function menurun secara stabil selama 30 epoch dengan *box_loss* dari 0,909 menjadi 0,585 dan *cls_loss* dari 3,252 menjadi 0,557, mengindikasikan model konvergen tanpa overfitting yang signifikan. Berdasarkan evaluasi metrik kinerja pada data uji, diperoleh mAP50 sebesar 0,926 dan akurasi global 76,56%, dengan Precision 0,963, Recall 0,945, dan F1-Score 0,954 untuk kelas knalpot normal, serta Precision 0,767, Recall 0,855, dan F1-Score 0,809 untuk kelas knalpot berkarat. Selisih antara mAP50 dan akurasi global disebabkan oleh 23 False Positive dari background yang ikut dihitung dalam total prediksi. Secara keseluruhan, model mampu mendeteksi dan melokalisasi objek knalpot berkarat dengan tingkat akurasi yang memadai untuk diterapkan sebagai alat bantu inspeksi uji kolong kendaraan.
3. Metode Gray Level Co-occurrence Matrix (GLCM) berhasil mengekstrak empat fitur tekstur dari 29 objek knalpot berkarat, yaitu *Contrast*, *Energy*, *Homogeneity*, dan *Correlation*. Nilai rata-rata *Contrast* sebesar 0,3794 dan *Homogeneity* sebesar 0,8812 menunjukkan bahwa permukaan berkarat memiliki tekstur yang lebih kasar dan tidak seragam dibandingkan

permukaan normal, sehingga metode GLCM terbukti mampu membedakan kondisi tekstur permukaan knalpot secara kuantitatif.

V.2 Saran

Dari penelitian yang telah dilakukan, penulis menyarankan tiga hal yang dapat dikembangkan pada penelitian selanjutnya yaitu sebagai berikut :

1. Penelitian selanjutnya dapat dikembangkan dengan menambahkan variasi data latih kelas knalpot berkarat serta memperluas cakupan deteksi pada jenis kendaraan lain, khususnya kendaraan dengan JBB lebih dari 3.500 kg.
2. Pada tahap implementasi, disarankan untuk menyediakan pencahayaan tambahan di area kolong kendaraan untuk memastikan hasil deteksi yang optimal, terutama dalam kondisi lingkungan dengan pencahayaan rendah.
3. Penelitian selanjutnya disarankan untuk mengumpulkan nilai fitur GLCM dari knalpot kondisi normal sebagai data pembanding yang empiris, serta dapat menggunakan model YOLO versi terbaru untuk memperoleh kinerja deteksi yang lebih optimal dan efisien.
4. Memperluas cakupan pengumpulan dataset dengan melibatkan beberapa lokasi PKB dari berbagai daerah dengan karakteristik lingkungan yang berbeda, termasuk daerah pesisir pantai dan daerah pegunungan. Keragaman lokasi pengambilan data akan meningkatkan kemampuan generalisasi model terhadap variasi kondisi korosi yang lebih luas sehingga sistem dapat diterapkan secara lebih merata di berbagai wilayah Indonesia.
5. Melakukan validasi silang antara hasil deteksi model dengan penilaian teknisi berpengalaman secara sistematis untuk mengukur tingkat kesesuaian antara deteksi otomatis dan inspeksi visual manual. Validasi ini penting untuk mengetahui sejauh mana sistem dapat diandalkan sebagai alat bantu inspeksi di lapangan dan pada kondisi seperti apa sistem paling sering menghasilkan penilaian yang berbeda dari teknisi.
6. Mengembangkan sistem klasifikasi tingkat keparahan karat menjadi beberapa kategori seperti karat ringan, sedang, dan berat. Pengembangan ini memerlukan dataset yang dianotasi dengan label tingkat keparahan dan dapat memanfaatkan nilai fitur GLCM — khususnya contrast — sebagai dasar pembeda tingkat keparahan, mengingat nilai contrast pada penelitian ini

menunjukkan rentang yang cukup lebar dari 0,1340 hingga 1,4126 yang berpotensi merepresentasikan perbedaan tingkat keparahan korosi.

DAFTAR PUSTAKA

- 5 *Image Annotation Types and Their Real-World Use Cases*. (n.d.). Retrieved May 27, 2026, from <https://www.habiledata.com/blog/image-annotation-types/>
- Amazon. (2023). *Stainless Steel Car Exhaust Tip, 2.5" to 3.3" Adjustable Car Decoration Chrome-Plated Finish Exhaust Tailpipe, Universal Car Exhaust Pipe Modification Tail Throat Tail Pipe (Silver #Straight): Amazon.com.au: Automotive*. <https://www.amazon.com.au/Stainless-Adjustable-Decoration-Chrome-Plated-Modification/dp/B0C9J9V4Z1?th=1>
- ASTRAOtoshop. (2025). *Catalytic Converter Mobil: Cara Kerja, Fungsi, dan Dampaknya | AstraOtoshop.com*. <https://astraotoshop.com/article/catalytic-converter>
- AUTO2000. (2021). *6 Bagian Knalpot Mobil yang Harus Anda Ketahui | Auto2000*. <https://auto2000.co.id/berita-dan-tips/bagian-knalpot-mobil>
- Bangert, P. (2023). Buku Machine Learning. In *PT Global Eksekutif Teknologi* (p. 175). <https://books.google.ca/books?id=EoYBngEACAAJ&dq=mitchell+machine+learning+1997&hl=en&sa=X&ved=0ahUKEwiodmqfj8TkAhWGsIkKHRcbAtoQ6AEIKjAA>
- blibli. (n.d.). *Jual Exhaust Pipe Mitsubishi Colt L300 Diesel 2.500 Cc. Pipa Knalpot Mobil Di Seller Lilliaa Shop - Wanasari, Kab. Bekasi | Blibli*. Retrieved July 28, 2025, from <https://www.blibli.com/p/exhaust-pipe-mitsubishi-colt-l300-diesel-2-500-cc-pipa-knalpot-mobil/ps--LIS-70275-21438>
- BoyceAutoRepair. (2024). *What Does a Car's Resonator Do? - Boyce Auto Repair*. <https://boyceautorepair.com/blog/what-does-a-cars-resonator-do/>
- cars.com. (2025). *Manifold Knalpot | Cars.com*. https://www.cars.com/auto-repair/glossary/exhaust-manifold/?utm_source=chatgpt.com
- Danesvaran Ferisa. (2022). *Cara Pasang Resonator Knalpot Mobil dan Fungsi Pentingnya*. <https://blog.otoklix.com/cara-pasang-resonator-knalpot-mobil/>
- Daris Arsyada. (2024). *Mengenal Sistem Exhaust pada Kendaraan: Jenis dan Komponen Penyusunnya - PT TENSOR*. https://pttensor.com/2024/12/09/mengenal-sistem-exhaust-pada-kendaraan-jenis-dan-komponen-penyusunnya/?utm_source=chatgpt.com
- DISHUB Sleman, 2023. (2023). *Pengujian Kendaraan Bermotor - Dinas Perhubungan*

- Kabupaten Sleman. <https://perhubungan.slemankab.go.id/pengujian-kendaraan-bermotor/>
- DOKTERMOBIL.2025. (n.d.). *Cara Meningkatkan Tenaga Mesin Mobil L300 Yang Jitu - DokterMobil.com*. Retrieved July 28, 2025, from <https://www.doktermobil.com/cara-meningkatkan-tenaga-mesin-mobil-l300/>
- Dwijaya. (2021). *Pendeteksian Alat Pelindung Diri*. 1–9.
- Fang, X., Luo, Q., Zhou, B., Li, C., & Tian, L. (2020). *Research Progress of Automated Visual Surface*. <https://www.mdpi.com/1424-8220/20/18/5136>
- Hayati, N. J., Singasatia, D., & Muttaqin, M. R. (2023). Object Tracking Menggunakan Algoritma You Only Look Once (YOLO)v8 untuk Menghitung Kendaraan. *Komputa: Jurnal Ilmiah Komputer Dan Informatika*, 12(2), 91–99. <https://doi.org/10.34010/komputa.v12i2.10654>
- Henry, H. (2025). *Muffler Delete Risks: Potential Damage To Your Car Explained*. https://shunauto.com/article/can-a-muffler-delete-damage-your-car?utm_source
- Heryoko. (2022). *Alat Ukur Emisi Gas Buang Menggunakan Arduino Berbasis IoT*. <https://repository.wicida.ac.id/4524/>
- Infootomotif. (2023). *Penyebab Knalpot Bocor yang sering terjadi*. <https://kumparan.com/info-otomotif/4-penyebab-knalpot-bocor-yang-sering-terjadi-22q190IWG2P>
- Irawan, R. B., Pujiyanto, E., & Khairi, M. F. (2022). Unjuk kerja catalytic converter katalis tembaga krom terhadap penurunan temperatur emisi bas buang motor bensin. *Sintek Jurnal: Jurnal Ilmiah Teknik Mesin*, 16(2), 131. <https://doi.org/10.24853/sintek.16.2.131-136>
- Kurniati, F. T., Sembiring, I., Setiawan, A., Setyawan, I., & Huizen, R. R. (2024). GLCM-Based Feature Combination for Extraction Model Optimization in Object Detection Using Machine Learning. *Jurnal Ilmiah Teknik Elektro Komputer Dan Informatika*, 9(4), 1196–1205. <https://doi.org/10.26555/jiteki.v9i4.27842>
- Li, Y., Yin, C., Lei, Y., & Zhang, J. (2024). *terapan RDD-YOLO: Algoritma Pendeteksian Kerusakan Jalan Berbasis You Only Look Once Versi 8 yang Disempurnakan*. <https://www.mdpi.com/2076-3417/14/8/3360>
- Lilit Farmazian. (2022). *Exhaust manifold definition and meaning | REREV*. <https://rerev.com/glossary/exhaust-manifold/>
- Logosvpng. (2023). *Roboflow, Inc. Logo Vector (.SVG + .PNG)*.

- <https://www.logosvgpng.com/roboflow-inc-logo-vector/>
- Lutfi Yanuar Taruna. (2025). *Kisah di Balik Object Detection: Dari R-CNN Lambat hingga YOLO Super Cepat*. <https://inixindobdg.co.id/article/5vq5v>
- Meinggar Catur. (2025). *Definisi Observasi Lapangan: Langkah Awal dalam Penelitian*. <https://skripsiexpress.com/observasi-lapangan/>
- Mihmidat Nur Wachda. (2024). *Tailpipe Mobil: Pengertian dan Fungsinya - TransTRACK - Fleet Telematics Solution*. <https://blog.transtrack.co/teknologi/tailpipe-adalah/>
- Mobil Suzuki. (2024). *Ini Bahaya Membiarkan Knalpot Berkarat*. <https://suzukisumberbaru.co.id/berita/ini-bahaya-membiarkan-knalpot-berkarat?page=all>
- Montiro.id. (2025). *exhaust manifold*. <https://montiro.id/otopedia/abjad/m/manifold-intake-exhaust>
- Nayazri. (2021). Pemeriksaan Kendaraan Sebelum Berkendara. *Pengujian Kendaraan Bermotor*, 34–44. [https://repository.uin-suska.ac.id/19522/8/8.BAB III \(1\).pdf](https://repository.uin-suska.ac.id/19522/8/8.BAB%20III%20(1).pdf)
- Novianto, A., Eska Fahmadi, A., & El Tosi, V. (2022). Kajian Penerapan Pemeriksaan Persyaratan Teknis Pada Unit Pelaksana Uji Berkala Kendaraan Bermotor Sesuai Buku Pedoman Pengujian Kendaraan Bermotor Jilid II B Dan II D. *Jurnal Keselamatan Transportasi Jalan (Indonesian Journal of Road Safety)*, 9(1), 11–20. <https://doi.org/10.46447/ktj.v9i1.415>
- Otopedia. (2025). *Montiro.id | Muffler*. <https://montiro.id/otopedia/abjad/m/muffler>
- Penatas Heru. (2024). *Apa Itu Resonator Knalpot Mobil, Fungsi, dan Cara Kerjanya*. <https://www.roojai.co.id/article/kendaraan/resonator/>
- Qureshi, S., Fatima, A., Daudpoto, J., Shaikh, A., & Qayoom, A. (2025). *Real-Time Crack Detection and Segmentation in Metallic Surfaces Using YOLO v11-Seg Model Integrated with HMI for Industrial Applications*. https://doi.org/10.55432/978-1-6692-0011-6_4
- Raup, A., Ridwan, W., Khoeriyah, Y., Supiana, S., & Zaqiah, Q. Y. (2022). Deep Learning dan Penerapannya dalam Pembelajaran. *JIIIP - Jurnal Ilmiah Ilmu Pendidikan*, 5(9), 3258–3267. <https://doi.org/10.54371/jiip.v5i9.805>
- Raya Ismail, D., & Rahmadewi, R. (2025). Sistem Deteksi Jalan Berlubang Secara Real-Time Menggunakan Yolov11: Integrasi Data Dan Lokasi Melalui Website. *JATI (Jurnal Mahasiswa Teknik Informatika)*, 9(3), 3953–3961. <https://doi.org/10.36040/jati.v9i3.13436>

- Roni, A., & Amri, Y. (2024). Sentimen Analisis Aplikasi Posaja Pada Google Playstore Untuk Peningkatan Pospay Superapp Menggunakan Support Vector Meachine. *Jurnal Teknik Informatika*, 16(2), 1–7. <https://ejurnal.ulbi.ac.id/index.php/informatika/article/view/3533>
- Sapkota, R., & Karkee, M. (2025). *Improved YOLOv12 with LLM-Generated Synthetic Data for Enhanced Apple Detection and Benchmarking Against YOLOv11 and YOLOv10*. 2024. <http://arxiv.org/abs/2503.00057>
- Shah, D. (2022). *Apa itu Mean Average Precision (mAP), bagaimana cara menghitungnya, dan mengapa penting untuk mengevaluasi kinerja model?* <https://www.v7labs.com/blog/mean-average-precision>
- Support.apple. (2024). *iPhone 6s Plus - Spesifikasi Teknis*. <https://support.apple.com/id-id/111996>
- Suzuki. (2022). *Penyebab Karat Pada Knalpot dan Cara Hilangkannya*. <https://www.suzuki.co.id/tips-trik/penyebab-karat-pada-knalpot-dan-cara-hilangkannya?pages=all>
- Suzuki. (2023). *Mengenal Berbagai Jenis Knalpot Mobil: Perbedaan dan Keunggulannya*. <https://suzukitradajatim.co.id/berita/mengenal-berbagai-jenis-knalpot-mobil?page=all>
- Tri, W. (2022). *Multi Proximity: Jurnal Statistika Universitas Jambi Analisis Kematangan Buah Pisang dengan Metode Gray Level Co-Occurence Matrix (GLCM) Banana Fruit Ripeness Analysis Using the Gray Level Co-Occurrence Matrix (GLCM) Method Pendahuluan*. 1(2), 93–102.
- Tunas toyota. (2022). *Inilah Bagian dan Fungsi Knalpot Mobil!* <https://www.tunastoyota.com/post/inilah-bagian-dan-fungsi-knalpot-mobil>
- Utomo, B. (n.d.). *Jenis korosi dan penanggulangannya*. 6(2), 138–141. <https://doi.org/10.14710/kpl.v6i2.2731>
- Woro Isti Rahayu, Cahyo Prianto, & Ema Ainun Novia. (2021). Perbandingan Algoritma K-Means Dan Naïve Bayes Untuk Memprediksi Prioritas Pembayaran Tagihan Rumah Sakit Berdasarkan Tingkat Kepentingan Pada Pt. Pertamina (Persero). *Jurnal Teknik Informatika*, 13(2), 1–8.
- Zophie, J., & Himawan Triharminto, H. (2023). 9. Implementasi Algoritma You Only Look Once (YOLO) menggunakan Web Camera untuk Mendeteksi Objek Statis dan Dinamis. *TNI Angkatan Udara*, 1(1), 98–109. <https://doi.org/10.62828/jpb.v1i1.50>