

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

V.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan secara menyeluruh, mulai dari tahap pengumpulan data, pre-processing citra, pelatihan model, evaluasi kinerja, hingga implementasi deteksi objek, dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut.

1. Penerapan *YOLOv11s* dengan teknik *Pre-processing* Berbasis CLAHE dan HSV

Algoritma *YOLOv11* varian small (*YOLOv11s*) berhasil diterapkan dalam sistem deteksi otomatis kerusakan transmisi kendaraan bermotor dengan dukungan teknik pre-processing berbasis CLAHE (*Contrast Limited Adaptive Histogram Equalization*) dan konversi ruang warna HSV (*Hue, Saturation, Value*). *Pipeline* pengolahan citra yang diterapkan dimulai dari peningkatan kontras melalui CLAHE, konversi ke *grayscale*, transformasi ke ruang warna HSV, hingga segmentasi area kerusakan berbasis histogram terbukti menghasilkan dataset yang memadai untuk melatih model mengenali pola rembesan oli pada kondisi pencahayaan rendah, permukaan berdebu, dan variasi sudut pandang kamera yang merupakan kondisi aktual pada lorong uji kolong kendaraan bermotor. Keberhasilan penerapan *pipeline* ini dibuktikan dengan kemampuan model mendeteksi dua kelas objek, yaitu TRANSMISI dan OLI-REMBES, pada 500 dataset yang dikumpulkan bermacam dengan berbagai lokasi dan tipe kendaraan niaga ringan.

2. Kinerja Model *YOLOv11s* Berdasarkan Parameter Evaluasi

Model *YOLOv11s* menunjukkan kinerja deteksi yang sangat baik dan meningkat secara konsisten seiring bertambahnya jumlah data pelatihan. Evaluasi dilakukan pada lima macam dataset (100 hingga 500 gambar) menggunakan empat parameter utama: *mAP@0.5*, *Precision*, *Recall*, dan *F1-score*. Hasil evaluasi menunjukkan bahwa:

- a) Jumlah 400 dataset mencatat nilai $mAP@0.5$ tertinggi sebesar 0,922 (92,2%) dengan *Recall* terbaik sebesar 0,882 (88,2%), mengindikasikan sensitivitas deteksi yang sangat tinggi dan kemampuan lokalisasi objek yang presisi.
- b) Jumlah 500 dataset mencapai *Precision* tertinggi sebesar 0,883 (88,3%) dan nilai loss cukup stabil yang menunjukkan tingkat *false positive* terendah dan konsistensi generalisasi model yang paling baik.
- c) Terdapat lompatan performa yang signifikan dari jumlah 200 dataset ke jumlah 300 dataset ($mAP@0.5$ naik dari 0,839 menjadi 0,877), yang menegaskan bahwa jumlah minimum 300 dataset merupakan ambang batas kritis agar model mampu belajar secara optimal.
- d) Seluruh nilai $mAP@0.5$ pada jumlah 300 dataset hingga jumlah 500 dataset telah melampaui ambang 0,80 yang menjadi standar performa baik dalam aplikasi deteksi objek secara *real-time*, sehingga model dinyatakan layak untuk tahap implementasi.

Dengan mempertimbangkan keseimbangan seluruh parameter evaluasi, jumlah 500 dataset ditetapkan sebagai jumlah dataset terbaik untuk implementasi karena memiliki *Precision* tertinggi, kestabilan *loss* akhir yang paling baik, serta representasi data yang paling komprehensif dengan 500 dataset dari beragam tipe kendaraan dan kondisi visual.

3. Implementasi Deteksi Otomatis pada Proses Inspeksi Kendaraan Bermotor

Model *YOLOv11s* dengan jumlah 500 dataset (*best.pt*) berhasil diimplementasikan pada data dan menghasilkan deteksi otomatis terhadap komponen TRANSMISI maupun area OLI-REMBES secara akurat. *Bounding box* yang dihasilkan tertata rapi tanpa *overlapping* meskipun komponen berada berdekatan secara fisik, dan sistem mampu bekerja pada kondisi pencahayaan rendah serta permukaan berdebu yang merupakan kondisi nyata kolong kendaraan. Hasil implementasi ini membuktikan bahwa sistem deteksi berbasis *YOLOv11s* memiliki potensi yang kuat sebagai alat bantu inspeksi teknis otomatis pada proses uji berkala kendaraan bermotor di UPUBKB, yang berpotensi mengurangi ketergantungan pada pengamatan visual manual dan menurunkan risiko kesalahan identifikasi (*human error*) dalam pemeriksaan transmisi kendaraan bermotor.

V.2 Saran

Berdasarkan keterbatasan penelitian yang telah diidentifikasi serta potensi pengembangan yang dimiliki, berikut disampaikan beberapa saran yang bersifat konstruktif dan dapat dipertanggungjawabkan secara akademis maupun teknis.

1. Perluasan Dataset dan Diversifikasi Kelas Kerusakan

Penelitian ini hanya mendeteksi satu jenis kerusakan visual, yaitu rembesan oli transmisi. Penelitian lanjutan disarankan untuk memperluas cakupan kelas kerusakan yang dideteksi, mencakup korosi pada *housing*, retakan casing, keausan *seal*, serta kondisi *gasket* yang rusak. Penambahan kelas kerusakan ini menuntut perluasan dataset secara signifikan (disarankan minimal 200–300 dataset per kelas) agar model dapat belajar dengan optimal pada setiap kategori. Dengan perluasan ini, sistem akan mampu memberikan laporan inspeksi yang lebih komprehensif dan relevan dengan kebutuhan pemeriksaan teknis sesungguhnya.

2. Integrasi dan Pengujian Lapangan pada Robot Kolong Kendaraan Bergerak

Implementasi yang dilakukan dalam penelitian ini masih terbatas pada pengujian terhadap data validasi yang bersifat statis. Tahap selanjutnya yang krusial adalah mengintegrasikan model *YOLOv11s* ke dalam platform robot inspeksi bawah kendaraan yang dapat bergerak secara terkendali, kemudian mengukur performa inferensi secara aktual meliputi kecepatan deteksi (FPS), akurasi pada citra bergerak, serta stabilitas sistem di bawah getaran dan perubahan pencahayaan yang dinamis. Pengujian lapangan ini merupakan prasyarat yang diperlukan sebelum sistem dapat dinyatakan siap untuk diterapkan secara operasional di UPUBKB.

3. Pengembangan Sistem dan Integrasi dengan Platform Uji Berkala

Agar sistem dapat memberikan nilai praktis yang nyata bagi UPUBKB, perlu dikembangkan antarmuka pengguna (*user interface*) yang memungkinkan petugas penguji melihat hasil deteksi secara langsung, menyimpan laporan inspeksi, dan mengintegrasikan output sistem ke dalam basis data kendaraan uji berkala. Pengembangan ini akan menjadi jembatan antara hasil penelitian akademis dan kebutuhan operasional di lapangan, sekaligus mendukung transformasi digital pada unit pengujian kendaraan bermotor di Indonesia.

Daftar Pustaka

- Alif, M. A. R. (2024). *YOLOv11 for Vehicle Detection: Advancements, Performance, and Applications in Intelligent Transportation Systems*. <http://arxiv.org/abs/2410.22898>
- Ardianto, G., & Makhrojan, A. (n.d.). *PROSES TRANSMISI MANUAL PADA MOBIL KIJANG KF 40*. Retrieved June 18, 2026, from <https://doi.org/10.30591/nozzle.v1i2.160>
- Arisandi, D., Khoerunnisa, A., Subekti, R., Setiawan, A. E., & Ramdani, C. (2025). Performance Evaluation of CLAHE-Enhanced Edge Detection on Low-Light Faces. In *Journal of Computing Innovations and Emerging Technology* (Vol. 1, Number 1). <https://novamindpress.org/index.php/JCIET>
- Bento, J., Paixão, T., & Alvarez, A. B. (2025). Performance Evaluation of YOLOv8, YOLOv9, YOLOv10, and YOLOv11 for Stamp Detection in Scanned Documents. *Applied Sciences (Switzerland)*, 15(6). <https://doi.org/10.3390/app15063154>
- Bieniek, A., Graba, M., Mamala, J., Augustynowicz, A., & Szczepanek, M. (2023). Analysis of passenger car powertrain system measurements in road conditions. *Combustion Engines*, 195(4), 144–151. <https://doi.org/10.19206/CE-170207>
- Cunanan, C., Tran, M. K., Lee, Y., Kwok, S., Leung, V., & Fowler, M. (2021). A Review of Heavy-Duty Vehicle Powertrain Technologies: Diesel Engine Vehicles, Battery Electric Vehicles, and Hydrogen Fuel Cell Electric Vehicles. In *Clean Technologies* (Vol. 3, Number 2, pp. 474–489). MDPI. <https://doi.org/10.3390/cleantechnol3020028>
- Farhan, M., Mawarda Hutagalung, S., Alfariz Rasyid, M., & Ikhwanu Shafa, D. (n.d.). *E-ISSN: xxxx-xxxx Real-Time Object Color Detection Using the HSV Method in Python*. <https://doi.org/10.64803/ikosstemi.v1i1.32>
- Flores-Calero, M., Astudillo, C. A., Guevara, D., Maza, J., Lita, B. S., Defaz, B., Ante, J. S., Zabala-Blanco, D., & Armingol Moreno, J. M. (2024). Traffic Sign Detection and Recognition Using YOLO Object Detection Algorithm:

A Systematic Review. In *Mathematics* (Vol. 12, Number 2). Multidisciplinary Digital Publishing Institute (MDPI). <https://doi.org/10.3390/math12020297>

Idiyanto, B., Surya, A., Sholih, H., Tinggi Teknologi Muhammadiyah Cileungsi, S., & Barat, J. (2024a). Analysis of Damage and Repairs to the Transmission Part of the Komatsu Type GD825-2 Grader Unit. *Rekayasa Energi Manufaktur) Jurnal /*, 9(1), 2528–3723. <https://doi.org/10.21070/rem.v9i1.1698>

Idiyanto, B., Surya, A., Sholih, H., Tinggi Teknologi Muhammadiyah Cileungsi, S., & Barat, J. (2024b). Analysis of Damage and Repairs to the Transmission Part of the Komatsu Type GD825-2 Grader Unit. *Rekayasa Energi Manufaktur) Jurnal /*, 9(1), 2528–3723. <https://doi.org/10.21070/rem.v9i1.1698>

Kaya, İ., & Baykara, C. (2024). The investigation of the effect of operating conditions in gearboxes on efficiency. *Advances in Mechanical Engineering*, 16(4). <https://doi.org/10.1177/16878132241248072>

Kumar, R. (2018). Image Contrast Enhancement using Combination of DWT & SWT with CLAHE. *International Journal for Research in Applied Science and Engineering Technology*, 6(5), 2009–2012. <https://doi.org/10.22214/ijraset.2018.5328>

Kuric, I., Klarák, J., Bulej, V., Sága, M., Kandra, M., Hajdučík, A., & Tucki, K. (2022). Approach to Automated Visual Inspection of Objects Based on Artificial Intelligence. *Applied Sciences (Switzerland)*, 12(2). <https://doi.org/10.3390/app12020864>

Lilansa, N., Aji Pratama, R., Tanadi, R., Nindi Kara, R. N., Otomasi Manufaktur dan Mekatronika, T., & Manufaktur Negeri Bandung, P. (2024). PENGUJIAN ALGORITMA YOLO UNTUK DETEKSI CACAT PADA PRODUK HASIL ALUMINIUM CASTING PADA INDUSTRI OTOMOTIF. *Jurnal Teknologi Terapan) /*, 10(2).

- Liu, Y., Liu, Y., Guo, X., Ling, X., & Geng, Q. (2025). Metal surface defect detection using SLF-YOLO enhanced YOLOv8 model. *Scientific Reports*, 15(1). <https://doi.org/10.1038/s41598-025-94936-9>
- Morales Matamoros, O., Takeo Nava, J. G., Moreno Escobar, J. J., & Ceballos Chávez, B. A. (2025). Artificial Intelligence for Quality Defects in the Automotive Industry: A Systemic Review. In *Sensors* (Vol. 25, Number 5). Multidisciplinary Digital Publishing Institute (MDPI). <https://doi.org/10.3390/s25051288>
- 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>
- Prasetya, D. B., Sumbodo, W., & Setiadi, R. (2023). Analisis Statis Desain Chassis Kendaraan Listrik 2 Penumpang. In *Jurnal Rekayasa Mesin* (Vol. 18, Number 3). <https://jurnal.polines.ac.id/index.php/rekayasa>
- Shofiah, S., Griyo Arti, T., & Gunawan, G. (2022). Nilai Guna IP Webcam Sebagai Alat Bantu Pemeriksaan Bawah Kolong Kendaraan Bermotor. *Jurnal Keselamatan Transportasi Jalan (Indonesian Journal of Road Safety)*, 9(2), 142–150. <https://doi.org/10.46447/ktj.v9i2.445>
- Susanto, N., Purwaningsih, R., & Baharullah, A. (2017). ANALISIS PENGARUH TRANSMISI MOBIL MANUAL DAN OTOMATIS TERHADAP TINGKAT KESULITAN YANG DIHADAPI PENGEMUDI PEMULA. In *Jurnal Teknik Industri* (Vol. 12, Number 3).
- Syahroni, M. (2020). PERSEPSI MAHASISWA TERHADAP MANFAAT METODE PEMBELAJARAN OBSERVASI LAPANGAN PADA MATA KULIAH PROFESI KEPENDIDIKAN. *Indonesian Journal of Education and Learning*, 4(1), 417. <https://doi.org/10.31002/ijel.v4i1.3253>
- Tasnim, S., & Qi, W. (2023). Progress in Object Detection: An In-Depth Analysis of Methods and Use Cases. *European Journal of Electrical*

Engineering and Computer Science, 7(4), 39–45.
<https://doi.org/10.24018/ejece.2023.7.4.537>

Thrupthi C P, Dr. Chitra K, & Mrs Harilakshmi V M. (2024). Object Detection for Autonomous Vehicles Using YOLO Algorithm. *International Journal of Advanced Research in Science, Communication and Technology*, 180–184. <https://doi.org/10.48175/ijarsct-22539>

Wibowo, H., & Hakim, M. I. N. (2022). Robotic-Based Bottom Vehicle Inspection in Indonesian. *RSF Conference Series: Engineering and Technology*, 2(2), 69–78. <https://doi.org/10.31098/cset.v2i2.560>

Wibowo, H., Manongga, D., Wellem, T., Utomo, D., & Suraharta, I. M. (n.d.). *Detection of Suspension Leaks by Histogram Technique*.

Yan, R., Zhang, R., Bai, J., Hao, H., Guo, W., Gu, X., & Liu, Q. (2023). STMS-YOLOv5: A Lightweight Algorithm for Gear Surface Defect Detection. *Sensors*, 23(13). <https://doi.org/10.3390/s23135992>

Zhao, D., Cheng, Y., & Mao, S. (2024). Improved Algorithm for Vehicle Bottom Safety Detection Based on YOLOv8n: PSP-YOLO. *Applied Sciences (Switzerland)*, 14(23). <https://doi.org/10.3390/app142311257>