

**KERTAS KERJA WAJIB**  
**DETEKSI KNALPOT BERKARAT PADA KENDARAAN**  
**BERMOTOR BERBASIS ALGORITMA *YOLOv11s* DAN**  
**GRAY LEVEL CO-OCCURRENCE MATRIX**

Ditujukan untuk memenuhi Sebagian persyaratan memperoleh gelar Ahli Madya



Disusun oleh :

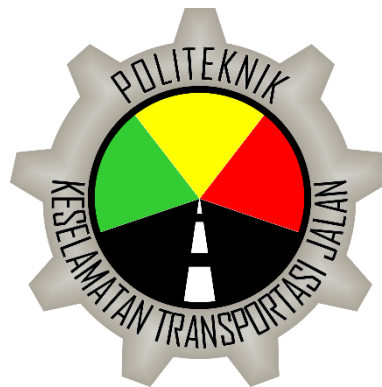
SILVISTRA NOVELIA TRIYANDINI

23033049

**PROGRAM STUDI D3 TEKNOLOGI OTOMOTIF**  
**POLITEKNIK KESELAMATAN TRANSPORTASI JALAN**  
**TEGAL**  
**2026**

**KERTAS KERJA WAJIB**  
**DETEKSI KNALPOT BERKARAT PADA KENDARAAN**  
**BERMOTOR BERBASIS ALGORITMA *YOLOv11s* DAN**  
**GRAY LEVEL CO-OCCURRENCE MATRIX**

Ditujukan untuk memenuhi Sebagian persyaratan memperoleh gelar Ahli Madya



Disusun oleh :

SILVISTRA NOVELIA TRIYANDINI

23033049

**PROGRAM STUDI D3 TEKNOLOGI OTOMOTIF**  
**POLITEKNIK KESELAMATAN TRANSPORTASI JALAN**  
**TEGAL**  
**2026**

**HALAMAN PERSETUJUAN**

**DETEKSI KNALPOT BERKARAT PADA KENDARAAN BERMOTOR  
BERBASIS ALGORITMA *YOLOV11* DAN GRAY LEVEL CO-OCCURRENCE  
MATRIX**

**"DETECTING RUSTY MUFFLERS ON MOTOR VEHICLES  
BASED ON THE *YOLOV11* ALGORITHM AND GRAY-LEVEL CO-OCCURRENCE  
MATRIX"**

Disusun oleh:

**SILVISTRA NOVELIA TRIYANDINI  
23033049**

Telah disetujui oleh:

Dosen Pembimbing 1



**Helmi Wibowo, S.pd., M.T  
NIP.19900621 201902 1 001**

Tanggal 26 Mei 2020

Dosen Pembimbing 2



**Mokhammad Rifqi Tsani, S.Kom., M.Kom  
NIP.19890822 201902 1 001**

Tanggal 26 Mei 2020

**HALAMAN PENGESAHAN**  
**DETEKSI KNALPOT BERKARAT PADA KENDARAAN BERMOTOR**  
**BERBASIS ALGORITMA YOLOV11S DAN GRAY LEVEL CO-OCCURRENCE**  
**MATRIX**

Disusun oleh:

Silvistra Novelia Triyandini

23033049

Telah dipertahankan di depan Tim Penguji

Pada tanggal, 15 Juni 2026

Ketua Sidang

**Drs. Gunawan, M.T**

NIP.19621218 198903 1 006

Penguji 1

**Helmi Wibowo, S.Pd., M.T**

NIP.19900621 201902 1 001

Penguji 2

**Siti Shofiah, S.Si., M.Sc**

NIP.19890919 201902 2 001

Tanda Tangan



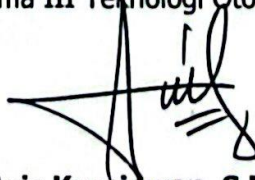
Tanda Tangan



Tanda Tangan



Mengetahui,  
Ketua Program Studi  
Diploma III Teknologi Otomotif



**Moch. Aziz Kurniawan, S.Pd., M.T**

NIP. 19921009 201902 1 002

## HALAMAN PERNYATAAN

Yang bertanda tangan di bawah ini :

Nama : Silvestra Novelia Triyandini

Notar : 23033049

Program Studi : D3 Teknologi Otomotif

Menyatakan bahwa Kertas Kerja Wajib/ Tugas Akhir dengan judul "DETEKSI KNALPOT BERKARAT PADA KENDARAAN BERMOTOR BERBASIS ALGORITMA *YOLOV11S* DAN GRAY LEVEL CO-OCCURRENCE MATRIX" ini sepenuhnya merupakan hasil karya saya sendiri. Dalam laporan ini tidak terdapat bagian yang diambil dari karya ilmiah lain yang pernah digunakan untuk memperoleh gelar akademik pada lembaga pendidikan tinggi manapun. Selain itu, tidak ada karya atau pendapat pihak lain yang digunakan tanpa pencantuman sumber secara tertulis dan lengkap di dalam daftar pustaka.

Dengan pernyataan ini, saya menegaskan bahwa Laporan Kertas Kerja Wajib/Tugas Akhir ini bebas dari unsur plagiasi. Apabila di kemudian hari terbukti bahwa laporan ini mengandung unsur penjiplakan atau penggunaan karya orang lain tanpa izin dan atribusi yang semestinya, saya bersedia menerima sanksi akademik maupun hukum sesuai dengan ketentuan yang berlaku.

Tegal, 26 Mei 2026

Yang menyatakan



Silvestra Novelia Triyandini

## KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan ke hadirat Tuhan Yang Maha Esa atas rahmat dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan Laporan Kertas Kerja Wajib/Tugas Akhir berjudul "DETEKSI KNALPOT BERKARAT PADA KENDARAAN BERMOTOR BERBASIS ALGORITMA *YOLOv11s* DAN GRAY LEVEL CO-OCCURRENCE MATRIX" sebagai salah satu syarat memperoleh gelar Ahli Madya (A.Md) pada Program Studi Diploma III Teknologi Otomotif PKTJ Tegal.

Proses penelitian dan penyusunan laporan ini tidak terlepas dari tantangan, namun berkat doa, dukungan, dan bantuan berbagai pihak, penulis dapat menyelesaikannya dengan baik. Dengan penuh rasa hormat dan terima kasih, penulis menyampaikan apresiasi kepada :

1. Bapak Bambang Istiyanto, S.SiT., M.T., selaku Direktur Politeknik Keselamatan Transportasi Jalan Tegal, yang telah memberikan kesempatan dan fasilitas kepada penulis untuk menempuh pendidikan serta melaksanakan penelitian ini.
2. Bapak Moch. Aziz Kurniawan, S.Pd., M.T., selaku Kepala Program Studi Diploma III Teknologi Otomotif, yang senantiasa memberikan dukungan, pengarahan, serta kebijakan akademik yang menunjang kelancaran proses penelitian.
3. Bapak Helmi Wibowo, S.Pd., M.T., selaku Pembimbing I yang telah meluangkan waktu, tenaga, dan pemikiran untuk memberikan bimbingan, arahan, serta masukan yang sangat berarti dalam setiap tahapan penyusunan kertas kerja waji ini.
4. Bapak Mokhammad Rifqi Tsani, S.Kom., M.Kom., selaku Pembimbing II yang dengan penuh kesabaran memberikan koreksi, wawasan teknis, serta saran konstruktif yang memperkaya kualitas penelitian ini, khususnya dalam bidang pengolahan citra dan implementasi algoritma *YOLOv11s*.
5. Seluruh dosen dan tenaga kependidikan Program Studi Diploma III Teknologi Otomotif, yang telah memberikan ilmu pengetahuan, keterampilan, wawasan, pembelajaran praktikum, serta pelayanan akademik selama masa studi penulis.
6. Kedua orang tua tercinta Ignasius Triyanto dan Margareta Sudaryanti, yang menjadi sumber kekuatan dan inspirasi terbesar penulis, atas doa yang tidak

- pernah putus, cinta yang tulus, dukungan moral maupun material, serta keyakinan yang selalu diberikan kepada penulis sepanjang proses pendidikan.
7. Kakak-kakak saya tersayang (Mbak Linda, Mbak Ave dan Mas Figo) yang telah memberikan dorongan, semangat, dan motivasi yang membantu penulis tetap berfokus dan optimis dalam menyelesaikan kertas kerja wajib.
  8. Seseorang yang selalu memberikan semangat, dukungan emosional, serta motivasi selama proses penelitian dan penyusunan laporan ini, sehingga penulis dapat menyelesaikannya dengan lebih ringan.
  9. Rekan-rekan Taruna/Taruni Angkatan 34 Program Studi Teknologi Otomotif, yang telah menjadi teman belajar, teman diskusi, serta partner perjuangan dalam menjalani proses perkuliahan dan penyusunan Kertas Kerja Wajib.
  10. Taruni TO B, yang senantiasa menemani selama proses pengerjaan KKW, membantu dalam mencari solusi, berdiskusi dalam menyusun analisis, dan memberikan energi positif yang sangat berarti bagi penulis.

Penulis menyadari bahwa laporan ini masih jauh dari sempurna baik dari segi penyajian data, isi materi, maupun teknik penulisan. Oleh karena itu, penulis sangat mengharapkan kritik dan saran yang membangun sebagai bahan perbaikan di masa mendatang. Harapan penulis, semoga Kertas Kerja Wajib ini dapat memberikan manfaat bagi penulis sendiri, bagi pembaca, serta bagi pihak-pihak yang membutuhkan informasi terkait metode deteksi kerusakan knalpot menggunakan teknologi pengolahan citra dan kecerdasan buatan.

Tegal, Juni 2026



Silvestra Novelia Triyandini

## HALAMAN PERSEMBAHAN

*"Segala perkara dapat kutanggung di dalam Dia yang memberi kekuatan kepadaku." (Filipi 4:13)*

Puji dan syukur kepada Tuhan Yesus Kristus atas segala berkat, rahmat, kesehatan, kekuatan, dan kelancaran sehingga saya dapat menyelesaikan skripsi ini dengan baik. Dengan penuh rasa syukur dan bangga, karya ini penulis persembahkan kepada :

Ayahanda tercinta, Bapak Ignasius Triyanto, yang senantiasa berusaha memberikan yang terbaik untuk putrinya. Beliau telah menjadi penuntun dan teladan bagi saya, mengajarkan untuk tidak pernah berputus asa dan terus berjuang hingga saya bisa berada di tahap ini.

Ibunda tercinta, Ibu Margareta Sudaryanti, yang tak henti-hentinya selalu memberikan doa, semangat, nasihat, dan kasih sayang yang tulus selama ini. Terimakasih atas segala pengorbanan dan ketabahan hati dalam mendampingi putrinya hingga sampai di titik ini. Ibu adalah kekuatan terbesar dalam setiap langkah yang saya jalani.

Diriku sendiri, terimakasih telah kuat, bertahan, dan tidak menyerah meskipun perjalanan ini tidaklah mudah. Bangga sudah berjuang sejauh ini dan berhasil sampai di titik ini.

Kakak-kakakku tersayang, Mba Linda, Mba Ave dan Mas Figo, yang selalu memberikan dukungan, semangat, dan perhatian yang hangat. Terimakasih sudah menjadi tempat berbagi dan sandaran yang menyenangkan selama perjalanan ini.

Seseorang yang spesial, yang selalu hadir memberikan semangat, perhatian, dan kehangatan di setiap suka maupun duka. Terimakasih telah menjadi bagian dari perjalanan ini dan selalu percaya bahwa saya mampu.

Dosen pembimbing yang terhormat, yang telah memberikan bimbingan, arahan, ilmu, dan kesabaran sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini dengan baik.

Sahabat dan teman-teman seperjuangan yang telah menemani hari-hari penuh perjuangan dengan tawa, semangat, dan kebersamaan yang tak terlupakan. Terimakasih untuk setiap momen yang telah kita lewati bersama.

Semua pihak yang tidak dapat disebutkan satu per satu, yang telah memberikan doa, bantuan, dan dukungan selama proses penyelesaian skripsi ini.

## DAFTAR ISI

<b>HALAMAN PERSETUJUAN .....</b>	<b>ii</b>
<b>HALAMAN PENGESAHAN .....</b>	<b>iii</b>
<b>HALAMAN PERNYATAAN .....</b>	<b>iv</b>
<b>KATA PENGANTAR.....</b>	<b>v</b>
<b>HALAMAN PERSEMBAHAN.....</b>	<b>vii</b>
<b>DAFTAR ISI .....</b>	<b>viii</b>
<b>DAFTAR GAMBAR .....</b>	<b>xii</b>
<b>DAFTAR TABEL .....</b>	<b>xiv</b>
<b>DAFTAR LAMPIRAN .....</b>	<b>xv</b>
<b>INTISARI.....</b>	<b>xvi</b>
<b>ABSTRACT .....</b>	<b>xvii</b>
<b>BAB I PENDAHULUAN.....</b>	<b>1</b>
I.1 Latar Belakang.....	1
I.2 Rumusan masalah .....	3
I.3 Batasan Masalah .....	3
I.4 Tujuan Penelitian .....	3
I.5 Manfaat Penelitian.....	3
I.6 Bagi Politeknik Keselamatan Transportasi Jalan.....	4
I.7 Bagi Taruna/.....	4
I.8 Sistematika Penelitian.....	4
<b>BAB II TINJAUAN PUSTAKA .....</b>	<b>6</b>
II.1 Pengujian Kendaraan Bermotor .....	6
II.1.1 Pemeriksaan Persyaratan Teknis .....	6
II.2 Sistem Gas Buang .....	7
II.2.1 Regulasi Sistem Gas Buang.....	12
II.2.2 Fungsi dan Peran Sistem Gas Buang.....	12

II.2.3 Jenis-jenis dan Penyebab Kerusakan Knalpot.....	16
II.2.4 Dampak Penghilangan Pipa pada Knalpot.....	17
II.2.5 Proses Terjadinya Korosi.....	19
II.3 Deteksi Objek .....	21
II.3.1 Deep learning dan Machine learning .....	22
II.3.2 You Only Look Once (YOLO) .....	23
II.3.3 Tools Pendukung .....	23
II.3.4 Metode GLCM dan Pengolahan Citra .....	25
II.3.5 Parameter Performa Model YOLO .....	26
II.3.6 Confusion Matrix.....	27
II.4 Penelitian Relevan.....	29
<b>BAB III METODE PENELITIAN .....</b>	<b>32</b>
III.1 Lokasi dan Waktu .....	32
III.1.1 Lokasi Penelitian.....	32
III.1.2 Waktu Pelaksanaan Penelitian.....	32
III.2 Instrumen Pengumpulan Data .....	32
III.2.1 Kendaraan Bermotor Wajib Uji JBB dibawah 3,5 Ton .....	32
III.2.2 APD (Alat Pelindung Diri).....	33
III.2.3 Laptop dan Alat Tulis .....	33
III.2.4 Kamera digital atau Smartphone .....	34
III.3 Sumber Data .....	34
III.3.1 Data Primer.....	34
III.3.2 Data Sekunder.....	34
III.4 Jenis Penelitian.....	35
III.5 Teknik Pengumpulan Data .....	35
III.5.1 Observasi Lapangan.....	35
III.5.2 Observasi Dokumentasi .....	35

III.6 Diagram Alir Penelitian .....	36
III.6.1 Pengumpulan Data .....	36
III.6.2 Proses Deteksi Gambar Menggunakan <i>YOLOv11s</i> .....	37
III.6.3 Ekstraksi Area Hasil Deteksi .....	40
III.6.4 Analisis Tekstur Menggunakan Metode GLCM .....	41
III.6.5 Ekstraksi Fitur Tekstur .....	43
III.6.6 Analisis dan Interpretasi .....	43
<b>BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN .....</b>	<b>45</b>
IV.1 Dataset .....	45
IV.1.1 Pengumpulan Data .....	45
IV.1.2 Pengunggahan dan Pengelompokan Dataset ke Roboflow .....	47
IV.1.3 Anotasi (Labeling dan Bounding box) .....	48
IV.1.4 Pembagian Dataset ( <i>Test Split</i> ) .....	51
IV.1.5 <i>Ekspor</i> Dataset ke Google Colab .....	52
IV.2 Pelatihan Model <i>YOLOv11s</i> .....	54
IV.2.1 Konfigurasi Hiperparameter .....	54
IV.2.2 Proses Pelatihan .....	55
IV.2.3 Hasil Evaluasi Matriks Pelatihan ( <i>Loss Curve</i> ) .....	58
IV.3 Kinerja Model <i>YOLOv11s</i> .....	60
IV.3.1 Evaluasi Confusion Matrix .....	60
IV.3.2 Hasil Precision, Recall, F1-Score, mAP .....	62
IV.3.3 Pengukuran Akurasi Global (Akurasi Knalpot Normal dan Knalpot Berkarat) .....	63
IV.4 Analisis Tekstur Menggunakan GLCM .....	64
IV.4.1 Ekstraksi Area dari <i>Bounding box</i> (Cropping) .....	64
IV.4.2 Konversi Grayscale dan Kuantisasi .....	65
IV.4.3 Pembangunan Matriks GLCM .....	66

IV.4.4 Perbandingan Nilai GLCM Knalpot Normal vs Berkarat .....	68
IV.5 Implementasi dan Pembahasan .....	69
IV.5.1 Implementasi Deteksi pada Citra .....	69
IV.5.2 Implementasi Deteksi pada Video .....	70
IV.5.3 Hasil Pengukuran Waktu Pemrosesan.....	71
IV.5.4 Perbandingan dengan Penelitian Relevan .....	73
IV.5.5 Keterbatasan Sistem.....	75
<b>BAB V KESIMPULAN DAN SARAN .....</b>	<b>77</b>
V.1 Kesimpulan .....	77
V.2 Saran .....	78
<b>DAFTAR PUSTAKA .....</b>	<b>80</b>
<b>LAMPIRAN.....</b>	<b>84</b>

## DAFTAR GAMBAR

<b>Gambar II.1</b> Sistem Gas Buang .....	7
<b>Gambar II.2</b> Exhaust Manifold .....	8
<b>Gambar II.3</b> Exhaust Pipe .....	9
<b>Gambar II.4</b> Catalytic Converter .....	9
<b>Gambar II.5</b> Resenator .....	10
<b>Gambar II.6</b> Muffler .....	11
<b>Gambar II.7</b> Tall Pipe .....	11
<b>Gambar II.8</b> Korosi Seragam .....	13
<b>Gambar II.9</b> Korosi Sumur .....	13
<b>Gambar II.10</b> Korosi Erosi.....	14
<b>Gambar II.11</b> Lubang karena Korosi Erosi .....	14
<b>Gambar II.12</b> Korosi Galvanis.....	15
<b>Gambar II.13</b> Korosi Tegangan .....	15
<b>Gambar II.14</b> Proses Korosi .....	21
<b>Gambar II.15</b> Ilustrasi Proses Deteksi Objek.....	22
<b>Gambar II.16</b> Roboflow .....	24
<b>Gambar II.17</b> Gambar Logo Google Colab .....	24
<b>Gambar II.18</b> Alur kerja metode GLCM .....	25
<b>Gambar II.19</b> <i>Confusion matrix Table</i> .....	27
<b>Gambar III.1</b> Kendaraan Bermotor Wajib Uji .....	33
<b>Gambar III.2</b> APD Pengujian Kendaraan Bermotor .....	33
<b>Gambar III.3</b> Alat Tulis.....	33
<b>Gambar III.4</b> Smartphone .....	34
<b>Gambar III.5</b> Diagram Alir Penelitian .....	36
<b>Gambar IV.1</b> Pengumpulan Data .....	45
<b>Gambar IV.2</b> Tampilan Antarmuka Pengunggahan Dataset di Roboflow .....	47
<b>Gambar IV.3</b> Tampilan Kumpulan Data pada Platform Roboflow .....	48
<b>Gambar IV.4</b> Proses Anotasi Kelas Knalpot Berkarat .....	50
<b>Gambar IV.5</b> Proses Anotasi Kelas Knalpot Normal .....	50
<b>Gambar IV.6</b> Hasil Konfigurasi <i>Train/Test Split</i> di Roboflow .....	52
<b>Gambar IV.7</b> Pemilihan Format Ekspor <i>YOLOv11s</i> di Roboflow .....	53
<b>Gambar IV.8</b> Snippet Kode API Roboflow untuk Google Colab .....	53

<b>Gambar IV.9</b> Log Pelatihan <i>Epoch</i> Awal ( <i>Epoch</i> 1–4) .....	56
<b>Gambar IV.10</b> Log Pelatihan <i>Epoch</i> Akhir ( <i>Epoch</i> 27–30) .....	56
<b>Gambar IV.11</b> Lokasi File best.pt pada Direktori Google Colab .....	57
<b>Gambar IV.12</b> <i>Loss Curve</i> Pelatihan Model <i>YOLOv11ss</i> .....	59
<b>Gambar IV.13</b> <i>Confusion matrix</i> Model <i>YOLOv11ss</i> .....	61
<b>Gambar IV.14</b> Sintaks pembangunan matriks GLCM menggunakan fungsi graycomatrix().....	66
<b>Gambar IV.15</b> Perbandingan Visual Kondisi Knalpot Normal dan Berkarat .....	68
<b>Gambar IV.16</b> Hasil Deteksi Knalpot Normal ( <i>Confidence</i> 0,84) .....	69
<b>Gambar IV.17</b> Hasil Deteksi Knalpot Berkarat dengan Nilai GLCM .....	70
<b>Gambar IV.18</b> Hasil Deteksi Knalpot Berkarat pada Video .....	71
<b>Gambar IV.19</b> Grafik Hasil Pengukuran Waktu .....	73

## DAFTAR TABEL

<b>Tabel II.1</b> Penelitian Relevan .....	29
<b>Tabel III.1</b> Waktu Operasional UPT. PPTP Kota Tangerang .....	32
<b>Tabel IV.1</b> Distribusi Dataset per Kelas .....	46
<b>Tabel IV.2</b> Data Merek dan Tipe Kendaraan .....	46
<b>Tabel IV.3</b> Spesifikasi Pengunggahan Dataset ke Roboflow.....	48
<b>Tabel IV.4</b> Kriteria Anotasi per Kelas.....	49
<b>Tabel IV.5</b> Pembagian Dataset.....	51
<b>Tabel IV.6</b> Konfigurasi Hiperparameter Pelatihan Model <i>YOLOv11s</i> .....	55
<b>Tabel IV.7</b> Rekapitulasi Nilai Loss dan Metrik per <i>Epoch</i> .....	57
<b>Tabel IV.8</b> Tren Perubahan Loss dan Metrik Pelatihan .....	59
<b>Tabel IV.9</b> Rincian Nilai <i>Confusion Matrix</i> .....	61
<b>Tabel IV.10</b> Hasil Evaluasi Metrik Kinerja Model <i>YOLOv11s</i> .....	62
<b>Tabel IV.11</b> Komponen Perhitungan Akurasi Global .....	63
<b>Tabel IV.12</b> Alur Proses Ekstraksi Area dari <i>Bounding box</i> .....	64
<b>Tabel IV.13</b> Tahapan Pra-pemrosesan Sebelum GLCM .....	65
<b>Tabel IV.14</b> Parameter Pembangunan Matriks GLCM.....	66

## DAFTAR LAMPIRAN

<b>Lampiran 1</b>	Dataset Gambar Knalpot Normal dan Knalpot Berkarat .....	84
<b>Lampiran 2</b>	Kode Program Pelatihan Model <i>YOLOv11s</i> pada Google Colab .....	93
<b>Lampiran 3</b>	Kode Program Deteksi pada Citra Statis (novel.py) .....	94
<b>Lampiran 4</b>	Kode Program Deteksi pada Video (novel_video.py) .....	98

## INTISARI

Inspeksi knalpot kendaraan bermotor dalam pengujian berkala masih dilakukan secara manual, sehingga rentan terhadap subjektivitas dan human error serta tidak efisien untuk skala massal di Unit Pelaksana Teknis Pengujian Kendaraan Bermotor (PKB). Penelitian ini mengimplementasikan algoritma *YOLOv11s* untuk mendeteksi knalpot berkarat secara otomatis, mengevaluasi kinerja model, serta menganalisis tekstur permukaan menggunakan *metode Gray Level Co-occurrence Matrix (GLCM)* sebagai alat bantu inspeksi uji kolong kendaraan.

Data primer dikumpulkan di UPT. PPTP Kota Tangerang berupa 500 gambar dua kelas (knalpot normal dan berkarat) dari kendaraan JBB di bawah 3,5 ton, dibagi menjadi 350 data latih, 100 validasi, dan 50 data uji. Anotasi bounding box dilakukan di Roboflow; model dilatih 30 epoch dengan optimizer AdamW dan confidence threshold 0,5 di Google Colab. Analisis GLCM dilakukan pada area cropping bounding box menggunakan empat sudut arah dan kuantisasi 16 level untuk mengekstrak fitur contrast, correlation, energy, dan homogeneity.

Model *YOLOv11s* mencapai mAP50 sebesar 0,926 dan akurasi global 76,56%. Kelas knalpot normal menghasilkan Precision 0,963, Recall 0,945, F1-Score 0,954; kelas knalpot berkarat memperoleh Precision 0,767, Recall 0,855, F1-Score 0,809. Selisih mAP50 dan akurasi global disebabkan 23 false positive dari latar belakang. Analisis GLCM pada 29 objek berkarat menghasilkan rata-rata contrast 0,3794, energy 0,2624, homogeneity 0,8812, correlation 0,9727, dan waktu pemrosesan rata-rata 245,3 ms per frame.

Dengan demikian, kombinasi *YOLOv11s* dan GLCM terbukti mampu mendeteksi korosi knalpot secara otomatis dengan performa memadai. Nilai homogeneity tinggi (0,8812) dan contrast rendah (0,3794) mengonfirmasi kemampuan GLCM membedakan tekstur permukaan secara kuantitatif. Penelitian lanjutan disarankan memperluas dataset lintas lokasi PKB, menambah klasifikasi tingkat keparahan karat, dan melakukan validasi silang dengan teknisi untuk meningkatkan generalisasi sistem.

**Kata kunci:** deteksi objek, GLCM, knalpot berkarat, kendaraan bermotor, *YOLOv11s*

## ABSTRACT

*Exhaust pipe inspection in periodic vehicle testing was still carried out manually by technicians, making it prone to subjectivity and human error and inefficient for large-scale implementation at Vehicle Testing Unit (PKB). This study implemented the YOLOv11s algorithm to automatically detect rusty exhaust pipes, evaluated model performance, and analyzed surface texture characteristics using the Gray Level Co-occurrence Matrix (GLCM) method as an automated tool to support undercarriage inspection.*

*Primary data were collected at UPT. PPTP Kota Tangerang, consisting of 500 images of two classes (normal and rusty exhaust pipes) from vehicles with a gross vehicle weight below 3.5 tons. The dataset was divided into 350 training, 100 validation, and 50 test images. Bounding box annotation was performed in Roboflow; the model was trained for 30 epochs using the AdamW optimizer with a confidence threshold of 0.5 in Google Colab. GLCM analysis was applied to cropped bounding box regions using four directional angles and 16-level quantization to extract four texture features: contrast, correlation, energy, and homogeneity.*

*The YOLOv11s model achieved a mAP50 of 0.926 and a global accuracy of 76.56%. The normal exhaust class yielded Precision 0.963, Recall 0.945, and F1-Score 0.954; the rusty exhaust class obtained Precision 0.767, Recall 0.855, and F1-Score 0.809. The gap between mAP50 and global accuracy was attributed to 23 false positives from the background. GLCM analysis on 29 rusty objects produced average values of contrast 0.3794, energy 0.2624, homogeneity 0.8812, correlation 0.9727, with an average processing time of 245.3 ms per frame.*

*The combination of YOLOv11s and GLCM proved capable of automatically detecting exhaust pipe corrosion with adequate performance. The high homogeneity value (0.8812) and low contrast value (0.3794) confirmed GLCM's ability to distinguish surface texture conditions quantitatively. Future research was recommended to expand the dataset across multiple PKB locations, add rust severity classification, and conduct cross-validation with experienced technicians to improve the generalizability of the system.*

**Keywords:** *object detection, GLCM, rusty exhaust pipe, motor vehicle, YOLOv11s*