

KERTAS KERJA WAJIB

**STUDI EKSPERIMENTAL REDUKSI EMISI GAS BUANG
DENGAN KATALIS MULTIMATERIAL BERDASARKAN
STOIKIOMETRI REAKSI KATALITIK MESIN BENSIN**

Ditunjukkan untuk memenuhi persyaratan memperoleh gelar Ahli Madya



Disusun oleh:

SATRIO RAFID ADANI PUSDOKO

23031020

PROGRAM STUDI DIPLOMA III TEKNOLOGI OTOMOTIF

POLITEKNIK KESELAMATAN TRANSPORTASI JALAN

TEGAL

2026

KERTAS KERJA WAJIB

**STUDI EKSPERIMENTAL REDUKSI EMISI GAS BUANG
DENGAN KATALIS MULTIMATERIAL BERDASARKAN
STOIKIOMETRI REAKSI KATALITIK MESIN BENSIN**

Ditunjukkan untuk memenuhi persyaratan memperoleh gelar Ahli Madya



Disusun oleh:

SATRIO RAFID ADANI PUSDOKO

23031020

PROGRAM STUDI DIPLOMA III TEKNOLOGI OTOMOTIF

POLITEKNIK KESELAMATAN TRANSPORTASI JALAN

TEGAL

2026

HALAMAN PERSETUJUAN
STUDI EKSPERIMENTAL REDUKSI EMISI GAS BUANG OLEH KATALIS
MULTIMATERIAL BERDASARKAN STOIKIOMETRI REAKSI KATALITIK
MESIN BENSIN

EXPERIMENTAL STUDY ON EXHAUST GAS EMISSION REDUCTION USING
MULTIMATERIAL CATALYST BASED ON THE STOICHIOMETRY OF GASOLINE
ENGINE CATALYTIC REACTIONS

Disusun oleh:

SATRIO RAFID ADANI PUSDOKO

23031020

Telah disetujui oleh:

Pembimbing 1



Moch. Aziz Kurniawan, S.Pd., M.T.
NIP. 19921009 201902 1 002

Tanggal 11 Mei 2026

Pembimbing 2



Siti Shofiah, S.Si., M.Sc.
NIP. 19890919 201902 2 001

Tanggal 11 Mei 2026

HALAMAN PENGESAHAN
STUDI EKSPERIMENTAL REDUKSI EMISI GAS BUANG DENGAN KATALIS
MULTIMATERIAL BERDASARKAN STOIKIOMETRI REAKSI KATALITIK
MESIN BENSIN

*EXPERIMENTAL STUDY ON EXHAUST GAS EMISSION REDUCTION USING
MULTIMATERIAL CATALYST BASED ON THE STOICHIOMETRY OF GASOLINE
ENGINE CATALYTIC REACTIONS*

Disusun oleh:

SATRIO RAFID ADANI PUSDOKO

23031020

Telah dipertahankan di depan Tim Penguji

Pada tanggal 2 Juni 2026

Ketua Sidang

Aat Eska Fahmadi, M.Pd
NIP. 19880627 201902 1 001

Penguji 1

Moch. Aziz Kurniawan, S.Pd., M.T.
NIP. 19921009 201902 1 002

Penguji 2

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

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 : Satrio Rafid Adani PUSDOKO

Notar : 23031020

Program Studi : Diploma III Teknologi Otomotif

Menyatakan bahwa Kertas Kerja Wajib dengan judul **"STUDI EKSPERIMENTAL REDUKSI EMISI GAS BUANG DENGAN KATALIS MULTIMATERIAL BERDASARKAN STOIKIOMETRI REAKSI KATALITIK MESIN BENSIN"** adalah hasil karya saya sendiri. Laporan ini tidak terdapat bagian dari karya ilmiah lain yang telah diajukan untuk memperoleh gelar akademik di suatu lembaga pendidikan tinggi, dan juga tidak terdapat atau pendapat yang pernah ditulis atau diterbitkan oleh orang/lembaga lain, kecuali yang secara tertulis disitasi dalam laporan ini dan disebutkan sumbernya secara lengkap dalam daftar pustaka.

Dengan demikian saya menyatakan bahwa Kertas Kerja Wajib ini bebas dari unsur plagiasi serta semua data, hasil penelitian, dan temuan yang termuat dalam Kertas Kerja Wajib ini adalah hasil karya dan kontribusi penulis sendiri. Apabila terbukti bahwa Kertas Kerja Wajib ini merupakan hasil karya pihak lain, penulis bersedia mempertanggung jawabkan sekaligus bersedia menerima sanksi akademik dan/atau sanksi hukum berdasarkan aturan yang berlaku di Politeknik Keselamatan Transportasi Jalan.

Tegal, 11. Mei 2026

Yang Menyatakan



10000
METERAI
TEMPEL
483AKX503027146

Satrio Rafid Adani PUSDOKO

KATA PENGANTAR

Puji syukur Alhamdulillah ke hadirat Allah SWT atas rahmat dan karunia-Nya, sehingga Kertas Kerja Wajib berjudul **"Studi Eksperimental Reduksi Emisi Gas Buang Dengan Katalis Multimaterial Berdasarkan Stoikiometri Reaksi Katalitik Mesin Bensin"** dapat diselesaikan dengan baik. Kertas Kerja Wajib ini disusun sebagai salah satu syarat menyelesaikan studi di Program Diploma III Teknologi Otomotif, Politeknik Keselamatan Transportasi Jalan. Penyusunan Kertas Kerja Wajib ini tidak terlepas dari bantuan berbagai pihak. Oleh karena itu, penulis mengucapkan terima kasih kepada :

1. Bapak Bambang Istiyanto, S.Si.T., M.T. selaku Direktur Politeknik Keselamatan Transportasi Jalan.
2. Bapak Moch. Aziz Kurniawan, S.Pd., M.T. selaku Kepala Program Studi Diploma III Teknologi Otomotif.
3. Bapak Moch. Aziz Kurniawan, S.Pd., M.T. selaku Pembimbing Utama yang telah memberikan bimbingan, arahan, dan masukkan dengan penuh kesabaran selama penelitian hingga penyusunan laporan ini.
4. Ibu Siti Shofiah, S.Si., M.Sc selaku Pembimbing Kedua yang turut memberikan dukungan dan arahan akademis.
5. Keluarga tercinta, khususnya orang tua saya, yang selalu memberikan dukungan moral, spiritual, dan material selama masa studi hingga selesainya Kertas Kerja Wajib ini.
6. Kakak kakak, adik adik dan rekan TO XXXIV, yang telah memberikan semangat, ide, serta dukungan selama proses penelitian ini berlangsung.

Penulis menyadari bahwa kertas kerja wajib ini jauh dari kesempurnaan. Oleh karena itu, penulis terbuka terhadap saran dan kritik konstruktif dari semua pihak yang bersedia memberikan masukan demi perbaikan di masa yang akan datang.

Tegal, 11 Mei 2026

Yang menyatakan,



Satrio Rafid Adani Pusdoko

DAFTAR ISI

HALAMAN PERSETUJUAN	i
HALAMAN PENGESAHAN	ii
HALAMAN PERNYATAAN	iii
KATA PENGANTAR.....	iv
DAFTAR ISI	v
DAFTAR TABEL	viii
DAFTAR GAMBAR	x
DAFTAR LAMPIRAN.....	xii
INTISARI	xiii
ABSTRACT	xiv
BAB I PENDAHULUAN	1
I.1. Latar Belakang	1
I.2. Rumusah Masalah.....	3
I.3. Batasan Masalah.....	3
I.4. Tujuan Penelitian	4
I.5. Manfaat Penelitian	4
I.6. Sistematika Penulisan.....	5
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	7
II.1. Penelitian Relevan	7
II.2. Emisi Gas Buang Kendaraan Bermotor.....	12
II.3. Stoikiometri Reaksi Katalitik pada Mesin Bensin.....	13
II.4. Prinsip Dasar <i>Catalytic Converter</i>	15
II.5. Material Katalis dalam Sistem Konverter	16
II.6. <i>X-Ray Diffraction (XRD)</i> sebagai Metode Karakterisasi Material Katalis.....	17

II.7. Karakterisasi Fisik dan Kimia Katalis	19
II.8. Mekanisme Reaksi pada Permukaan Katalis.....	20
II.9. Desain Geometri dan Struktur Katalis	21
II.10. Pengujian Kinerja Katalis pada Mesin	23
BAB III METODE PENELITIAN.....	24
III.1. Lokasi dan Waktu Penelitian	24
III.1.1. Lokasi Penelitian	24
III.1.2. Waktu Penelitian	25
III.2. Jenis Penelitian	26
III.3. Alat dan Bahan Penelitian.....	26
III.4. Metode Pengumpulan Data	33
III.4.1. Data Primer	33
III.4.2. Data Sekunder	33
III.4.3. Prosedur Pembuatan <i>Catalytic Converter</i> Multimaterial .	34
III.4.4. Prosedur Pemasangan <i>Catalytic Converter</i> dan Pergantian Knalpot.....	37
III.4.5. Pengujian Emisi Gas Buang	38
III.5. Metode Pengolahan Data	40
III.5.1. Perencanaan Tabel Hasil dan Pembahasan	41
III.5.2. Karakterisasi Material Dengan <i>XRD</i>	43
III.6. Diagram Alir Penelitian.....	50
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN.....	51
IV.1. Hasil	51
IV.1.1. Deskripsi Proses dan Hasil Penelitian	51
IV.1.2. Data Emisi Gas Buang Tanpa <i>Catalytic Converter</i> (Baseline)	55
IV.1.3. Hasil Pengujian Emisi Gas Buang dengan <i>Catalytic Converter</i> Multimaterial (RON 90)	57

IV.1.4. Data Emisi Gas Buang pada Variasi RON Bahan Bakar...	57
IV.1.5. Persentase Reduksi Emisi per Variasi RON Bahan Bakar	58
IV.1.6. Skema Pengujian XRD.....	59
IV.1.7. Hasil Karakterisasi Material Katalis dengan <i>X-Ray Diffraction</i> (XRD)	60
IV.2. Pembahasan.....	65
IV.2.1. Analisis Karakteristik Emisi <i>Baseline</i> Berdasarkan Variasi Putaran Mesin	65
IV.2.2. Analisis Efektivitas <i>Catalytic Converter</i> Multimaterial	67
IV.2.3. Analisis Pengaruh Variasi RON terhadap Emisi dan Efektivitas <i>Catalytic Converter</i>	73
IV.2.4. Sinergi Material dan Mekanisme Kerja Katalis Multimaterial Berdasarkan Data XRD.....	78
BAB V PENUTUP	81
V.1. Kesimpulan.....	81
V.2. Saran	82
DAFTAR PUSTAKA	84
LAMPIRAN.....	87

DAFTAR TABEL

Tabel II.1 Penelitian Relevan	7
Tabel III.1 Spesifikasi Kendaraan Suzuki <i>Carry Pick Up</i>	27
Tabel III.2 Karakteristik Tembaga.....	29
Tabel III.3 Karakteristik Kuningan.....	30
Tabel III.4 Karakteristik Alumunium <i>Foam</i>	31
Tabel III.5 Karakteristik Zeolit <i>Clinoptilolite</i>	32
Tabel III.6 Hasil Pengujian Emisi Gas Buang Tanpa <i>Catalytic Converter</i>	41
Tabel III.7 Hasil Pengujian Emisi Gas Buang Dengan <i>Catalytic Converter</i>	41
Tabel III.8 Hasil Pengujian Emisi Gas Buang Menggunakan <i>Catalytic Converter</i> <i>Spiral 2 Pelat</i>	42
Tabel III.9 Hasil Rata-rata Emisi Gas Buang Berdasarkan Penggunaan <i>Catalytic</i> <i>Converter</i> dan Variasi RON	43
Tabel III.10 Pola Difraksi Sinar-X (<i>XRD</i>) Zeolit <i>Clinoptilolite</i>	45
Tabel III.11 Perubahan Pola <i>XRD</i> Zeolit <i>Clinoptilolite</i> Sebelum dan Sesudah Pengujian.....	46
Tabel IV.1 Hasil Pengujian Emisi CO (%vol) Gas Buang Tanpa <i>Catalytic Converter</i> (RON 90)	56
Tabel IV.2 Hasil Pengujian Emisi HC (ppm) Gas Buang Tanpa <i>Catalytic Converter</i> (RON 90)	56
Tabel IV.3 Konsistensi Data Pengulangan Emisi CO (% vol) - Spiral 2 Pelat, <i>Idle</i> 800 rpm, RON 90	57
Tabel IV.4 Konsistensi Data Pengulangan Emisi HC (ppm) - Spiral 2 Pelat, <i>Idle</i> 800 rpm, RON 90	57
Tabel IV.5 Perbandingan Emisi CO dan HC pada Variasi RON Bahan Bakar (<i>Idle</i> 800 rpm)	58
Tabel IV.6 Perbandingan Emisi CO dan HC Tanpa dan Dengan <i>Catalytic Converter</i> - RON 90	58
Tabel IV.7 Puncak Difraksi Utama Zeolit Sebelum Pengujian.....	62
Tabel IV.8 Puncak Difraksi Utama Zeolit Setelah Pengujian.....	63
Tabel IV.9 Fasa Mineral Hasil Identifikasi XRD Setelah Pengujian (Sampel 089)	64

Tabel IV.10 Evaluasi Kesesuaian Emisi Gas Buang terhadap Ambang Batas Permen LHK No. 8 Tahun 2023.....	69
Tabel IV.11 Perbandingan Puncak XRD Utama Sebelum dan Sesudah Pengujian	78

DAFTAR GAMBAR

Gambar II.1 Komposisi Gas Hasil Pembakaran Mesin Bensin	12
Gambar II.2 Ideal <i>Stoichiometry</i>	14
Gambar II.3 <i>Three Way Caralytic Converter</i>	15
Gambar II.4 Zeolit <i>Clinoptilolite</i>	17
Gambar II.5 <i>X-ray diffraction pattern of the natural zeolite (clinoptilolite)</i> material (M. A. A. Hamid et al., 2020)	20
Gambar II.6 Perbandingan Tiga Bentuk Pelat Katalis	22
Gambar III.1 UPT Pengujian Kendaraan Bermotor Kota Kediri	24
Gambar III.2 Dept Teknik Material dan Metalurgi ITS	25
Gambar III.3 Suzuki <i>Carry Pick Up</i>	27
Gambar III.4 <i>Gas Analyzer</i>	28
Gambar III.5 Alat Pelindung Diri (APD).....	29
Gambar III.6 Pelat Tembaga	29
Gambar III.7 <i>Face-Centered Cubic</i>	30
Gambar III.8 Pelat Kuningan	30
Gambar III.9 <i>Aluminium Foam</i> (Fu & Li, 2024).....	31
Gambar III.10 Zeolit <i>Clinoptilolite</i>	32
Gambar III.11 <i>Catalytic Converter</i>	35
Gambar III.12 Desain Tabung Galvalum.....	35
Gambar III.13 Desain Spiral Logam Kuningan.....	36
Gambar III.14 Desain Logam Tembaga	36
Gambar III.15 Diagram Pengujian <i>Gas Analyser</i>	38
Gambar III.16 <i>X-ray Diffraction Patterns of the Zeolite Sample</i> (Senila et al., 2025)	45
Gambar III.17 Diagram Alir Penelitian	50
Gambar IV.1 Persiapan Material	52
Gambar IV.2 Zeolit Setelah Pengujian	52
Gambar IV.3 Fabrikasi <i>Catalytic Converter</i>	53
Gambar IV.4 Perakitan dan Pemasangan Catalytic Converter	53
Gambar IV.5 Tahap Pengujian Emisi	54
Gambar IV.6 Penggantian Variasi Bahan Bakar	54

Gambar IV.7 Skema XRD	60
Gambar IV.8 Difraktogram XRD Zeolit Sebelum Pengujian (Sampel 088).....	61
Gambar IV.9 Difraktogram XRD Zeolit <i>Clinoptilolite</i> Setelah Pengujian beserta Identifikasi Fasa	63
Gambar IV.10 Tren Perubahan Emisi CO dan HC pada Variasi Putaran Mesin .	65
Gambar IV.11 Perbandingan Kadar CO Tanpa dan <i>Dengan Catalytic Converter</i> pada Variasi RPM.....	67
Gambar IV.12 Perbandingan Kadar HC Tanpa dan <i>Dengan Catalytic Converter</i> pada Variasi RPM.....	68
Gambar IV.13 Perbandingan Emisi CO Spiral 2 pelat per Pengulangan (P-1,P-2,P-3) – <i>Idle</i> 800 rpm, RON 90	72
Gambar IV.14 Perbandingan Emisi HC spiral 2 Pelat per Pengulangan - <i>Idle</i> 800 rpm, RON 90	73
Gambar IV.15 Perbandingan Emisi CO pada Variasi RON Bahan Bakar.....	74
Gambar IV.16 Perbandingan Emisi HC pada Variasi RON Bahan Bakar.....	75
Gambar IV.17 Persentase Reduksi Emisi CO dan HC pada Variasi RON Bahan Bakar.....	77

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1	Tabel Ambang Batas Emisi Kendaraan Bermotor Bermotor.....	87
Lampiran 2	Dokumentasi Alat, Bahan, dan Proses Pengambilan Data.....	88
Lampiran 3	Ringkasan Hasil Karakterisasi XRD	90
Lampiran 4	<i>International Centre for Diffraction Data (ICDD)</i> 5 (lima) Fasa	97

INTISARI

Pertumbuhan kendaraan bermotor Indonesia yang melampaui 150 juta unit meningkatkan pencemaran udara perkotaan, utamanya emisi CO dan HC dari kendaraan niaga lama berkarburator yang kerap melampaui baku mutu uji emisi. *Catalytic converter* berbasis logam mulia dinilai terlalu mahal untuk armada kendaraan tua, sehingga dibutuhkan alternatif berbahan lokal yang ekonomis. Penelitian ini bertujuan menganalisis kinerja *catalytic converter* multimaterial berbasis zeolit *clinoptilolite*, tembaga, dan kuningan dalam mereduksi emisi CO dan HC pada Suzuki *Carry Pick Up* 2005 sebagai solusi alternatif kendaraan niaga lama.

Penelitian menggunakan metode eksperimen deskriptif kuantitatif dengan objek Suzuki *Carry Pick Up* 2005 (kategori N, kendaraan tahun produksi sebelum 2007). Pengukuran emisi menggunakan *gas analyzer Heshbon HG-250* di UPT Pengujian Kendaraan Bermotor Kota Kediri dan analisis XRD di Lab. Material dan Metalurgi, Fakultas Teknologi Industri dan Rekayasa Sistem, Institut Teknologi Sepuluh Nopember. Ambang batas mengacu Permen LHK No. 8 Tahun 2023 (CO $\leq$ 4% vol; HC $\leq$ 1.100 ppm). Variabel bebas meliputi putaran mesin (800, 1.500, dan 3.000 rpm) dan jenis bahan bakar (RON 90, 92, dan 98), disertai karakterisasi *X-Ray Diffraction (XRD)* sebelum dan sesudah pengujian.

Emisi *baseline* tercatat CO 8,83% vol dan HC 2.268 ppm, melebihi regulasi. Setelah pemasangan, rata-rata emisi CO turun 42,26% dan HC 54,93% (RON 90), dengan reduksi tertinggi pada 1.500 rpm (CO 50,61%; HC 60,87%). Reduksi CO meningkat seiring kenaikan oktan (47,45%–49,41%), sementara reduksi HC tertinggi pada RON 90 akibat kompatibilitas molekul HC dengan pori zeolit *clinoptilolite*. XRD mengonfirmasi stabilitas kristal zeolit pascapengujian yang membuktikan bahwa *catalytic converter* multimaterial lebih efektif dari tembaga tunggal dan mampu memenuhi baku mutu emisi yang berlaku. Disarankan penelitian lanjutan untuk mengkaji durabilitas jangka panjang zeolit dan mengoptimalkan variasi dimensi dan konfigurasi susunan material katalis.

Kata Kunci : *Catalytic Converter* Multimaterial; Emisi Gas Buang; Zeolit *Clinoptilolite*; Tembaga dan Kuningan; Reduksi CO dan HC; Kendaraan Niaga Lama; Baku Mutu Emisi.

ABSTRACT

The growth of Indonesian motorized vehicles exceeding 150 million units has intensified urban air pollution, particularly CO and HC emissions from aging carburetor-type commercial vehicles that frequently exceed emission test standards. Conventional precious-metal catalytic converters are cost-prohibitive for aging fleets, necessitating an economical locally sourced alternative. This study analyzes the performance of a multimaterial catalytic converter based on clinoptilolite zeolite, copper, and brass in reducing CO and HC emissions from a 2005 Suzuki Carry Pick Up as an alternative solution for aging commercial vehicles.

The study employed a quantitative descriptive experimental method using a 2005 Suzuki Carry Pick Up (Category N, pre-2007 production) as the research object. Emission measurements were conducted using a Heshbon HG-250 gas analyzer at the Motor Vehicle Testing Unit (UPT PKB) of Kediri City, and XRD analysis was performed at the Materials and Metallurgy Laboratory, Faculty of Industrial Technology and Systems Engineering, Institut Teknologi Sepuluh Nopember. Emission thresholds followed Permen LHK No. 8 of 2023 (CO $\leq$ 4% vol; HC $\leq$ 1,100 ppm). Independent variables included engine speed (800, 1,500, and 3,000 rpm) and fuel type (RON 90, 92, and 98), accompanied by X-Ray Diffraction (XRD) characterization before and after testing.

Baseline emissions recorded CO at 8.83% vol and HC at 2,268 ppm, both exceeding regulatory limits. Following installation, average CO reduction reached 42.26% and HC 54.93% using RON 90, with the highest reduction at 1,500 rpm (CO 50.61%; HC 60.87%). CO reduction increased with higher octane values (47.45%–49.41%), while HC reduction peaked at RON 90 due to molecular size compatibility between HC compounds. XRD confirmed zeolite crystallographic stability post-testing, demonstrating that the multimaterial catalytic converter is more effective than a single-material copper converter. Future studies should investigate the long-term durability of the zeolite and optimize the dimensional variations and arrangement configuration of the catalyst material.

Keywords : Multimaterial Catalytic Converter; Exhaust Gas Emissions; Clinoptilolite Zeolite; Copper and Brass; CO and HC Reduction; Old Commercial Vehicles; Emission Standards