



UMSURA

Universitas Muhammadiyah Surabaya

**KAJIAN TEKNIS DAN EKONOMIS
PENERAPAN UJI EMISI KENDARAAN
BERMOTOR BERBASIS MESIN
PEMBAKARAN DALAM SEBAGAI UPAYA
PENGENDALIAN PENCEMARAN UDARA
DI KOTA SURABAYA**

SKRIPSI

Disusun Oleh:

**WAHYUDI SETIA ROSA
NIM. 20221331011**

Dosen Pembimbing

**Dr. MOH. ARIF BATUTAH, ST., MT., IPM.
NIDN. 07.0706.7402**

**PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SURABAYA
2026**



**KAJIAN TEKNIS DAN EKONOMIS
PENERAPAN UJI EMISI KENDARAAN
BERMOTOR BERBASIS MESIN
PEMBAKARAN DALAM SEBAGAI UPAYA
PENGENDALIAN PENCEMARAN UDARA
DI KOTA SURABAYA**

SKRIPSI

**Disusun Oleh:
WAHYUDI SETIA ROSA
NIM: 20221331011**

**Dosen Pembimbing
Dr. MOH. ARIF BATUTAH, ST., MT., IPM.
NIDN. 07.0706.7402**

**PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH
SURABAYA
2026**



**TECHNICAL AND ECONOMIC
ASSESSMENT OF IMPLEMENTING
EMISSION TESTING FOR INTERNAL
COMBUSTION ENGINE VEHICLES AS AN
AIR POLLUTION CONTROL STRATEGY IN
SURABAYA**

THESIS

Compiled by:

WAHYUDI SETIA ROSA

NIM: 20221331011

Advisor:

Dr. MOH. ARIF BATUTAH, ST., M.T., IPM.

NIDN. 07.0706.7402

**MECHANICAL ENGINEERING STUDY
PROGRAM FACULTY OF ENGINEERING
MUHAMMADIYAH UNIVERSITY OF
SURABAYA
2026**

**KAJIAN TEKNIS DAN EKONOMIS PENERAPAN UJI EMISI
KENDARAAN BERMOTOR BERBASIS MESIN PEMBAKARAN
DALAM SEBAGAI UPAYA PENGENDALIAN PENCEMARAN
UDARA DI KOTA SURABAYA**

SKRIPSI



**Disusun Oleh:
WAHYUDI SETIA ROSA
20221331011**

**PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SURABAYA
2026**

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

LEMBAR PERSETUJUAN

KAJIAN TEKNIS DAN EKONOMIS PENERAPAN UJI EMISI KENDARAAN BERMOTOR BERBASIS MESIN PEMBAKARAN DALAM SEBAGAI UPAYA PENGENDALIAN PENCEMARAN UDARA DI KOTA SURABAYA

WAHYUDI SETIA ROSA
NIM. 20221331011

Telah disetujui dan dinyatakan sah sebagai karya ilmiah
yang berhak diujikan yang telah diterapkan oleh fakultas.

Program Studi S1 Teknik Mesin, Fakultas Teknik Universitas
Muhammadiyah Surabaya

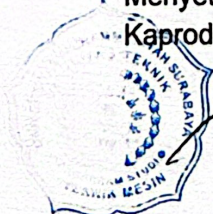
Surabaya, 21 Juni 2026

Mengetahui
Dosen Pembimbing

Moh. Arif Batutah ST., MT., IPM.

NIDN.07.0706.7402

Menyetujui
Kaprodik Teknik Mesin



Dr. Moh. Arif Batutah ST., MT., IPM.

NIDN.07.0706.7402

PERNYATAAN TIDAK MELAKUKAN PLAGIAT

Nama : Wahyudi Setia Rosa

NIM : 20221331011

Program Studi : S1 Teknik Mesin

Fakultas : Teknik

Menyatakan dengan sesungguhnya bahwa skripsi yang saya tulis ini benar – benar tulisan saya, dan bukan merupakan plagiasi baik sebagian atau seluruhnya. Apabila di kemudian hari terbukti melakukan plagiasi, saya bersedia menerima sanksi atas perbuatan tersebut sesuai dengan ketentuan yang berlaku di Universitas Muhammadiyah Surabaya.

Surabaya 21 Juni 2026,
Yang Membuat Pernyataan



(Wahyudi Setia Rosa)

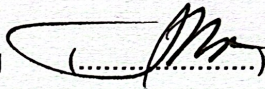
LEMBAR PENGESAHAN

Skripsi ini telah diajukan dan dipertahankan dihadapan tim Penguji dalam sidang pada tanggal 21 Juni 2026 oleh Mahasiswa atas nama Wahyudi Setia Rosa NIM 20221331011 dan dinyatakan telah memenuhi syarat untuk diterima sebagai kelengkapan mendapat gelar Sarjana Teknik dalam Program Studi Teknik Mesin Fakultas Universitas Muhammadiyah Surabaya.

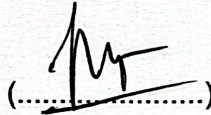
Dosen Penguji

Tanda Tangan

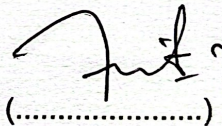
1. Ir. PONIDI, ST, MT, IPM, Asean.Eng
NIDN. 07.0302.7201



2. Ilyas Sofana, S.Pd., M.T.
NIDN.07.0707.9701



Dosen Pembimbing
Dr. Moh. Arif Batutah, ST., MT., IPM.
NIDN.07.0706.7402



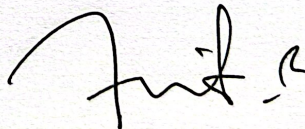
Mengetahui
Dekan Fakultas Teknik



Vippy Dharmawan, M. Ars.

NIDN.07.2509.6402

Menyetujui
Kaprodi Teknik Mesin

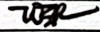
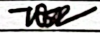
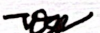


Dr. Moh. Arif Batutah ST., MT., IPM.

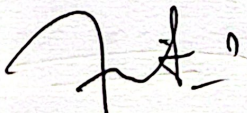
NIDN.07.0706.7402

BERITA ACARA BIMBINGAN TUGAS AKHIR

Nama : Wahyudi Setia Rosa
 NIM : 20221331011
 Program Studi : S1 Teknik Mesin
 Judul : Kajian Teknis Dan Ekonomis Penerapan Uji Emisi Kendaraan Bermotor Berbasis Mesin Pembakaran Dalam Sebagai Upaya Pengendalian Pencemaran Udara Di Kota Surabaya.

No	Tanggal	Materi	Paraf Pembimbing	Paraf Mahasiswa
1	21-02-26	Pembahasan Judul dan Materi Skripsi		
2	10-03-26	Revisi BAB I		
3	13-03-26	Revisi Research Gap		
4	27-03-26	Revisi Teori ICE		
5	06-04-26	Revisi Diagram Alur Penelitian		
6	22-04-26	Hasil dan Pembahasan		
7	23-04-26	Revisi Tabel, Grafik dan Interpretasi Hasil Pengujian & SPSS		
8	02-06-26	Kesimpulan dan Saran		
9	09-06-26	Daftar Pustaka dan Penginputan Mendeley		
10	10-06-26	Revisi Abstraksi		
11	16-06-26	Persiapan Print out		

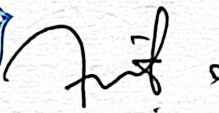
Mengetahui
Dosen Pembimbing



Moh. Arif Batutah ST., MT., IPM.

NIDN.07.0706.7402

Menyetujui
Kaprodi Teknik Mesin

Dr. Moh. Arif Batutah ST., MT., IPM.

NIDN.07.0706.7402

KAJIAN TEKNIS DAN EKONOMIS PENERAPAN UJI EMISI KENDARAAN BERMOTOR BERBASIS MESIN PEMBAKARAN DALAM SEBAGAI UPAYA PENGENDALIAN PENCEMARAN UDARA DI KOTA SURABAYA

Nama : Wahyudi Setia Rosa
NIM : 20221331011
Jurusan : Teknik Mesin FT-UM Surabaya
Dosen Pembimbing : Dr. Moh. Arif Batutah, ST., M.T., IPM.

ABSTRAK

Pertumbuhan kendaraan bermotor di Kota Surabaya yang mencapai 3,52 juta unit pada tahun 2024 dengan laju sekitar 6,0% per tahun meningkatkan urgensi pengendalian emisi gas buang dari kendaraan berbasis mesin pembakaran dalam. Penelitian ini bertujuan menganalisis karakteristik emisi karbon monoksida (CO), hidrokarbon (HC), *Air Fuel Ratio* (AFR), lambda, hubungan usia kendaraan dan skor perawatan terhadap emisi, efektivitas perawatan ringan dalam menurunkan emisi, perbedaan emisi antar kelompok usia kendaraan, serta kelayakan ekonomi awal program uji emisi berbasis skenario *Benefit Cost Ratio* (BCR) dan *Net Benefit*.

Penelitian menggunakan pendekatan kuantitatif empiris dengan desain deskriptif-analitik. Data utama berasal dari pengukuran emisi 30 kendaraan menggunakan *gas analyzer* CERTUS–CGA; analisis CO-HC-AFR/lambda difokuskan pada 28 kendaraan bensin, sedangkan 2 kendaraan diesel dianalisis terpisah melalui parameter opasitas asap. Pemilihan metode statistik mengikuti hasil uji normalitas Shapiro-Wilk: korelasi Spearman ditetapkan sebagai metode primer, uji Wilcoxon *Signed-Rank* digunakan untuk pengujian beda sebelum-sesudah perawatan, dan uji Kruskal-Wallis untuk perbandingan emisi antar kelompok usia. Korelasi Pearson dan regresi linear (sederhana dan berganda) digunakan sebagai metode pelengkap dengan verifikasi uji *Variance Inflation Factor* (VIF).

Hasil audit data kendaraan bensin menunjukkan rata-rata usia 10,96 tahun, AFR 14,614, lambda 0,994, CO sebelum perawatan 3,554% volume, CO sesudah perawatan 2,448% volume, HC sebelum perawatan 478,14 ppm, dan HC sesudah perawatan 325,93 ppm. Uji Wilcoxon menghasilkan statistik $W = 0$ dengan $p < 0,000001$ untuk penurunan CO (31,34%) dan HC (31,98%), dengan ukuran efek Cohen's d masing-masing 2,809 dan 2,970 — dikategorikan efek sangat besar. Korelasi Spearman menunjukkan skor perawatan berkorelasi sangat kuat negatif dengan CO sesudah ($r_s = -0,824$; $p < 0,001$), sedangkan usia kendaraan berkorelasi positif kuat dengan CO sesudah ($r_s = +0,659$; $p < 0,001$). Dalam model regresi berganda ($R^2 = 0,692$; Adj $R^2 = 0,653$; $F = 17,97$; $p < 0,001$), hanya skor perawatan yang mempertahankan signifikansi ($p = 0,0003$), sementara usia dan AFR tidak signifikan setelah efek skor dikontrol — menunjukkan bahwa setelah skor perawatan dimasukkan ke dalam model, pengaruh usia kendaraan tidak lagi signifikan. Hal ini mengindikasikan bahwa kondisi perawatan berperan lebih dominan dibanding usia kendaraan dalam menjelaskan variasi emisi CO pada sampel penelitian. Uji Kruskal-Wallis mengkonfirmasi perbedaan emisi CO yang signifikan antar kelompok usia ($H = 8,225$; $p = 0,016$). Nilai VIF seluruh prediktor < 3 , memastikan tidak ada multikolinearitas. Analisis ekonomi moderat menghasilkan BCR 1,50 dan *Net Benefit* Rp100.000 per kendaraan selama tiga bulan; namun hasil ini dibatasi sebagai simulasi skenario karena konsumsi bahan bakar aktual belum diukur langsung.

Dengan demikian, uji emisi yang diikuti perawatan ringan terbukti secara statistik efektif menurunkan emisi dan berpotensi menjadi instrumen diagnosis teknis pembakaran serta alat evaluasi ekonomi awal untuk mendukung pengendalian pencemaran udara perkotaan di Kota Surabaya.

Kata kunci: uji emisi, mesin pembakaran dalam, CO, HC, AFR, lambda, Spearman, Wilcoxon, Kruskal-Wallis, regresi linear berganda, VIF, opasitas, BCR, *Net Benefit*, Surabaya.

**TECHNICAL AND ECONOMIC ASSESSMENT OF
IMPLEMENTING EMISSION TESTING FOR INTERNAL
COMBUSTION ENGINE VEHICLES AS AN AIR POLLUTION
CONTROL STRATEGY IN SURABAYA**

Name : Wahyudi Setia Rosa
NIM : 20221331011
Study Program : Bachelor of Mechanical Engineering
Advisor : Dr. Moh. Arif Batutah, S.T., M.T., IPM.

ABSTRACT

The rapid growth in the number of motor vehicles in Surabaya, which reached 3.52 million units in 2024 with an annual growth rate of approximately 6.0%, has increased the urgency of controlling exhaust emissions from internal combustion engine vehicles. This study aims to analyze the characteristics of carbon monoxide (CO), hydrocarbons (HC), air–fuel ratio (AFR), and lambda, relationship between vehicle age and maintenance score with emission levels; effectiveness of minor maintenance in reducing emissions, emission differences among vehicle age groups, and assess the preliminary economic feasibility of an emission testing program using the Benefit–Cost Ratio (BCR) and Net Benefit approaches.

This study employed an empirical quantitative approach with a descriptive-analytical research design. Primary data were obtained from emission measurements of 30 vehicles using a CERTUS–CGA gas analyzer. The analysis of CO, HC, AFR/ lambda focused on 28 gasoline-powered vehicles, while two diesel-powered vehicles were analyzed separately based on smoke opacity. Statistical methods were selected according to the results of the Shapiro–Wilk normality test. Spearman’s rank correlation was adopted as the primary correlation method, the Wilcoxon signed-rank test was used to

compare emission levels before and after maintenance, and the Kruskal–Wallis test was employed to compare emissions among vehicle age groups. Pearson correlation and simple and multiple linear regression analyses were used as complementary methods, with Variance Inflation Factor (VIF) testing conducted to verify the absence of multicollinearity.

The vehicle audit showed that gasoline-powered vehicles had an average age of 10.96 years, an average AFR of 14.614, and an average lambda value of 0.994. The average CO concentration decreased from 3.554% by volume before maintenance to 2.448% by volume after maintenance, while HC concentration decreased from 478.14 ppm to 325.93 ppm. The Wilcoxon signed-rank test yielded $W = 0$ with $p < 0.000001$, indicating statistically significant reductions of 31.34% for CO and 31.98% for HC. Cohen's d effect sizes were 2.809 and 2.970, respectively, indicating very large effects. Spearman's correlation analysis revealed a very strong negative correlation between maintenance score and post-maintenance CO emissions ($r_s = -0.824$, $p < 0.001$), whereas vehicle age showed a strong positive correlation with post-maintenance CO emissions ($r_s = +0.659$, $p < 0.001$). In the multiple linear regression model ($R^2 = 0.692$; Adjusted $R^2 = 0.653$; $F = 17.97$; $p < 0.001$), only the maintenance score remained statistically significant ($p = 0.0003$), while vehicle age and AFR were no longer significant after controlling for maintenance score. These findings indicate that maintenance condition plays a more dominant role than vehicle age in explaining variations in CO emissions within the study sample. The Kruskal–Wallis test further confirmed significant differences in CO emissions among vehicle age groups ($H = 8.225$; $p = 0.016$). All predictor variables exhibited VIF values below 3, indicating the absence of multicollinearity. The moderate economic analysis yielded a Benefit–Cost Ratio (BCR) of 1.50 and a Net Benefit of IDR 100,000 per vehicle over a three-month period.

However, these results should be interpreted as a scenario-based simulation because actual fuel consumption was not directly measured.

In conclusion, emission testing followed by minor maintenance has been statistically proven to effectively reduce vehicle emissions and has the potential to serve as a technical diagnostic tool for combustion performance as well as a preliminary economic evaluation instrument to support urban air pollution control in Surabaya.

Keywords: *emission testing, internal combustion engine, carbon monoxide (CO), hydrocarbons (HC), air–fuel ratio (AFR), lambda, Spearman, Wilcoxon, Kruskal–Wallis, multiple linear regression, Variance Inflation Factor (VIF), opacity, Benefit–Cost Ratio (BCR), Net Benefit, Surabaya.*

.

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kehadirat Allah SWT, atas rahmat dan karunia-Nya, penyelesaian penyusunan Tugas Akhir ini dapat terealisasi, yang berjudul “Kajian Teknis dan Ekonomis Penerapan Uji Emisi Kendaraan Bermotor Berbasis Mesin Pembakaran Dalam Sebagai Upaya Pengendalian Pencemaran Udara di Kota Surabaya”.

Tugas akhir ini disusun untuk pemenuhan sebagian persyaratan dalam penyelesaian Program Sarjana (S1) di Departemen Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Surabaya. Penulis menyadari bahwa tanpa bimbingan, dukungan, dan motivasi dari berbagai pihak, penyusunan karya ini tidak akan dapat diselesaikan dengan baik.

Sehubungan dengan hal tersebut, apresiasi mendalam disampaikan kepada:

1. Prof. Dr. Mundakir, S.Kep, Ns, M.Kep, Rektor Universitas Muhammadiyah Surabaya.
2. Ir. Vippy Dharmawan, M.Ars., Dekan Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Surabaya.
3. Dr. Moh. Arif Batutah, S.T., M.T., IPM, selaku Kepala Program Studi Teknik Mesin Universitas Muhammadiyah Surabaya serta sebagai pembimbing skripsi yang memberikan pengawasan dan arahan substantif dalam penyusunan laporan ini.
4. Seluruh dosen dan staf Departemen Teknik Mesin Universitas Muhammadiyah Surabaya atas kontribusi keilmuan dan layanan administratif yang diberikan selama masa studi.

5. Kepala Dinas Lingkungan Hidup dan Kepala UPTD Wiyung DISHUB Kota Surabaya beserta staf yang telah memberikan izin dan data yang difasilitasi yang sangat dibutuhkan dalam penelitian ini.
6. Kedua orang tua dan keluarga tercinta, atas doa, dukungan material dan spiritual, serta afeksi yang senantiasa menjadi stimulan utama.
7. Rekan-rekan seperjuangan dan semua pihak yang tidak dapat disebutkan satu per satu, atas bantuan dan dorongannya.
8. Semua pihak yang telah memberikan bantuan dan dukungan, baik moril maupun material.

Disadari sepenuhnya bahwa tugas akhir ini belum mencapai tingkat kesempurnaan dan masih memiliki sejumlah keterbatasan. Oleh karena itu, kritik serta saran yang konstruktif sangat diharapkan demi penyempurnaan karya ini. Diharapkan bahwa hasil penelitian ini dapat berkontribusi signifikan, baik terhadap perkembangan ilmu pengetahuan maupun dalam upaya peningkatan kualitas lingkungan hidup di Kota Surabaya.

Surabaya, 20 Juni 2026

Wahyudi Setia Rosa
NIM. 20201331011

DAFTAR ISI

ABSTRAK	xxv
ABSTRACT	xxv
KATA PENGANTAR	xxv
DAFTAR ISI	xxv
DAFTAR GAMBAR	xxv
DAFTAR TABEL	xxv
DAFTAR PERSAMAAN	xxv
DAFTAR LAMPIRAN	xxv
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Identifikasi Masalah.....	5
1.3 Rumusan Masalah	6
1.4 Batasan Masalah	7
1.5 Tujuan Penelitian	7
1.6 Manfaat Penelitian	8
1.7 Research Gap, Practical Gap, Theoretical Gap, dan Novelty	9
1.8 Model Konseptual Penelitian	10
1.9 Sistematika Penulisan.....	11
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	12
2.1 Landasan Teori Penelitian	12
2.2 Mesin Pembakaran Dalam (<i>Internal combustion engine</i>) ..	13
2.3 Teori Pembakaran Hidrokarbon.....	14
2.4 Air Fuel Ratio dan Lambda	15
2.5 Teori Pembentukan Emisi.....	17
2.5.1 Karbon Monoksida (CO)	17
2.5.2 Hidrokarbon (HC).....	18
2.5.3 Nitrogen Oksida	18
2.6 <i>Catalytic Converter</i> dan Material Katalis.....	19
2.7 <i>Gas Analyzer</i> dan Validitas Instrumen.....	19
2.8 Baku Mutu Emisi Kendaraan	20

2.9 Analisis Statistik	22
2.9.1 Statistik Deskriptif	22
2.9.2 Uji Normalitas Shapiro - Wilk	22
2.9.3 Korelasi Spearman (Metode Utama)	23
2.9.4 Korelasi Pearson (Uji Sensitivitas).....	23
2.9.5 Uji Wilcoxon Signed-Rank	24
2.9.6 Uji Kruskal-Wallis	24
2.9.7 Regresi Linear sederhana dan Berganda	25
2.10 Analisis Ekonomi Program Uji Emisi	26
2.11 State of the Art dan Penelitian Terdahulu	27
2.12 Kerangka Konseptual.....	29
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	33
3.1 Desain Penelitian	33
3.2 Lokasi dan Waktu Penelitian.....	33
3.3 Populasi, Sampel, dan Teknik Sampling	33
3.4 Variabel Penelitian dan Definisi Operasional.....	33
3.5 Variabel Kontrol	33
3.6 Instrumen Penelitian	33
3.7 Prosedur Pengujian Emisi.....	50
3.8 Teknik Analisis Data	50
3.8.1 Persamaan Analisis Utama.....	44
3.8.2 Hipotesis Penelitian	50
3.9 Diagram Alir Penelitian	50
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	50
4.1 Karakteristik Sampel	50
4.2 Data Hasil Pengukuran Emisi	54
4.3 Statistik Deskriptif	56
4.4 Uji Normalitas Data	56
4.5 Analisis Korelasi.....	58
4.5.1 Korelasi Spearman	58
4.5.2 Korelasi Pearson.....	60
4.6 Uji Asumsi Klasik Regresi	60
4.6.1 Multikolinearitas	60

4.6.2 Normalitas Residual.....	60
4.6.3 Catatan Heterokedasitas dan Autokorelasi.....	61
4.7 Analisis Regresi Linear Sederhana.....	61
4.8 Analisis Regresi Linear Berganda.....	62
4.9 Uji Perbedaan Emisi Sebelum dan Sesudah Perawatan....	64
4.9.1 Uji Wilcoxon Signed - Rank	64
4.10 Analisis Emisi Berdasarkan Kelompok Usia (Kruskal-Wallis).....	65
4.11 Analisis AFR, Lambda dan Indikator Kualitas Pembakaran.....	66
4.12 Analisis Kendaraan Diesel : Opasitas Asap.....	67
4.13 Analisis Ekonomi Skenario Program Uji Emisi.....	68
4.14 Sintesis Temuan dan Integrasi dengan Teori	69
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	73
5.1 Kesimpulan	73
5.2 Implikasi Penelitian	73
5.3 Keterbatasan Penelitian	73
5.4 Saran.....	73
5.4.1 Bagi Pemilik Kendaraan	76
5.4.2 Bagi Bengkel dan Operator Uji emisi	73
5.4.3 Bagi Pemerintah Kota Surabaya	73
5.4.4 Bagi Peneliti Selanjutnya	73
DAFTAR PUSTAKA.....	73
BIODATA PENULIS.....	83

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1 Kurva pertumbuhan kendaraan bermotor Kota Surabaya 2020–2025 (sumber: BPS Kota Surabaya; data 2024–2025 adalah estimasi/proyeksi).....	3
Gambar 1.2 Model konseptual integrasi teknis-ekonomis uji emisi kendaraan bermotor.....	10
Gambar 2.1 Kerangka Konseptual Teknis-Ekonomis Penelitian.....	30
Gambar 3.1 Diagram alir metodologi penelitian.....	32
Gambar 3.2 Alat uji Gas Analyzer CERTUS–CGA (dokumentasi pribadi)	39
Gambar 3.3 Diagram Alir Metodologi dan Sintesis Penelitian.....	45

DAFTAR TABEL

Tabel 1.1 Data pertumbuhan kendaraan bermotor Kota Surabaya Tahun 2020–2025.....	6
Tabel 1.2 Data kualitas udara Kota Surabaya Tahun 2022–2024..	6
Tabel 1.3 Manfaat penelitian.....	7
Tabel 1.4 Matriks Gap dan Novelty Penelitian.....	9
Tabel 2.1 Landasan Teori dan Relevansi Penelitian.....	12
Tabel 2.2 Siklus kerja mesin empat langkah dan implikasinya terhadap emisi gas buang.....	13
Tabel 2.3 Interpretasi AFR dan lambda pada mesin bensin.....	17
Tabel 2.4 Reaksi pengendalian emisi pada catalytic converter....	19
Tabel 2.5 Parameter gas analyzer dan makna teknik.....	20
Tabel 2.6 Ringkasan baku mutu emisi kendaraan operasional (Permen LHK No. 8/2023)	21
Tabel 2.7 Kriteria keputusan analisis ekonomi (BCR dan NB).....	26
Tabel 2.8 State of the art penelitian 2020–2026.....	27
Tabel 3.1 Variabel Penelitian.....	36
Tabel 3.2 Variabel kontrol dan perlakuan dalam penelitian.....	38
Tabel 3.3 Prosedur validasi dan reliabilitas instrumen	40
Tabel 3.4 Rancangan Teknik Analisis Data.....	42
Tabel 3.5 Hipotesis penelitian, metode uji, dan kriteria.....	45
Tabel 4.1 Distribusi sampel kendaraan berdasarkan jenis.....	49
Tabel 4.2 Distribusi Sampel Berdasarkan Usia Kendaraan.....	50
Tabel 4.3 Jenis Bahan Bakar.....	51
Tabel 4.4 Sinkronisasi data berdasar kan jenis usia & bahan bakar.....	51
Tabel 4.5 Sinkronisasi data utama	52
Tabel 4.6 Data hasil uji emisi 30 kendaraan.....	53
Tabel 4.7 Distribusi Sampel Kendaraan.....	55
Tabel 4.8 Statistik Deskriptif Variabel Kendaran Bensin (n = 28)..	56
Tabel 4.9 Hasil Uji Normalitas Shapiro-Wilk (n = 28)	58

Tabel 4.10 Korelasi Spearman antarvariabel utama (n = 28)	59
Tabel 4.11 Hasil regresi linear sederhana (n = 28)	62
Tabel 4.12 Hasil regresi linear berganda (n = 28)	63
Tabel 4.13 Hasil uji Wilcoxon Signed-Rank (n = 28)	65
Tabel 4.14 Emisi berdasarkan kelompok usia kendaraan bensin.....	66
Tabel 4.15 Distribusi lambda dan kondisi kendaraan bensin.....	67
Tabel 4.16 Analisis BCR dan Net Benefit program uji emisi (tiga skenario)	69
Tabel 5.1 Implikasi hasil penelitian.....	75

DAFTAR PERSAMAAN

Persamaan 2.1 Reaksi pembakaran hidrokarbon	14
Persamaan 2.2 Pembentukan CO	15
Persamaan 2.3 Pembentukan NO secara teoritis	15
Persamaan 2.4 Efisiensi termal.....	15
Persamaan 2.5 Air Fuel Rasio.....	16
Persamaan 2.6 Excess Air Ratio atau Lambda.....	16
Persamaan 2.7 Rata-rata sampel.....	22
Persamaan 2.8 Standar deviasi: SD.....	22
Persamaan 2.9 Korelasi Spearman: r_s	23
Persamaan 2.10 Korelasi Pearson: r	23
Persamaan 2.11 Regresi linear sederhana.....	25
Persamaan 2.12 Regresi linear berganda.....	25
Persamaan 2.13 Variance Inflation Factor.....	25
Persamaan 2.14 Total Biaya.....	26
Persamaan 2.15 Benefit Cost Rasio.....	26
Persamaan 2.16 Net Benefit.....	26
Persamaan 3.1 Model regresi CO sederhana.....	44
Persamaan 3.2 Model regresi HC sederhana.....	44
Persamaan 3.3 Model regresi berganda.....	44
Persamaan 3.4 Persentase penurunan emisi.....	44
Persamaan 3.5 Benefit Cost Rasio(aplikasi).....	44
Persamaan 3.6 Net Benefit (aplikasi).....	44

DAFTAR LAMPIRAN

LAMPIRAN A. DOKUMENTASI PENGOLAHAN DATA SPSS	LAMPIRAN		84
LAMPIRAN B. AUDIT DATA, PERSAMAAN, DAN VALIDITAS INSTRUMEN		89	
LAMPIRAN C. ANALISIS DATASET EXCEL: UJI EMISI KENDARAAN - OUTPUT SETARA SPSS		92	