

TUGAS AKHIR

**PENGEMBANGAN ALAT UKUR EMISI GAS BUANG DALAM
KONDISI BERKENDARA**

Diajukan untuk memenuhi sebagai persyaratan Sarjana Terapan Teknologi Rekayasa
Otomotif



Disusun oleh:

HAFIZ RADITYA DARMAWAN

22.021.043

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

TUGAS AKHIR

**PENGEMBANGAN ALAT UKUR EMISI GAS BUANG DALAM
KONDISI BERKENDARA**

Diajukan untuk memenuhi sebagai persyaratan Sarjana Terapan Teknologi Rekayasa
Otomotif



Disusun oleh:

HAFIZ RADITYA DARMAWAN

22.021.043

PROGRAM STUDI TEKNOLOGI REKAYASA OTOMOTIF

POLITEKNIK KESELAMATAN TRANSPORTASI JALAN

TEGAL

2026

HALAMAN PERSETUJUAN

**PENGEMBANGAN ALAT UKUR EMISI GAS BUANG DALAM KONDISI
BERKENDARA**

*DEVELOPMENT OF THE DESIGN OF AN EXHAUST GAS EMISSION MEASURING
INSTRUMENT UNDER DRIVING CONDITIONS*

Disusun oleh:

Hafiz Raditya Darmawan

22.021.043

Telah disetujui oleh:

Pembimbing 1



Destria Rahmita, S.ST., M.Sc.
NIP. 19891227 201012 2 002

Pembimbing 2

Tanggal 28 April 2026



Faris Humami, S.Pd., M.Eng.
NIP. 19901110 201902 1 002

Tanggal 8 Mei 2026

HALAMAN PENGESAHAN

**PENGEMBANGAN ALAT UKUR EMISI GAS BUANG DALAM KONDISI
BERKENDARA**

*DEVELOPMENT OF THE DESIGN OF AN EXHAUST GAS EMISSION MEASURING
INSTRUMENT UNDER DRIVING CONDITIONS*

Disusun oleh:

Hafiz Raditya Darmawan

20.021.043

Telah dipertahankan di depan Tim Penguji

Pada tanggal 18 Mei 2026

Ketua Sidang

R. Arief Novianto, S.T., M.Sc.

NIP. 19741129 200604 1 001

Penguji 1

Ramadhan Dwi Prasetyo, S.T., M.Sc.

NIP. 19940310 202203 1 011

Penguji 2

Destria Rahmita, S.ST., M.Sc.

NIP. 19891227 201012 2 002


Tanda Tangan



Tanda Tangan



Tanda Tangan



03.06.2026

Mengetahui,

Ketua Program Studi

Sarjana Terapan Teknologi Rekayasa Otomotif



Dr. Ery Muthoriq, S.T., M.T.
NIP. 19830704 200912 1 004

HALAMAN PERNYATAAN

Yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Hafiz Raditya Darmawan

Notar : 22.021.043

Program Studi : Sarjana Terapan Teknologi Rekayasa Otomotif

Menyatakan bahwa skripsi dengan judul "**PENGEMBANGAN ALAT UKUR EMISI GAS BUANG DALAM KONDISI BERKENDARA**" adalah hasil karya saya sendiri. Semua sumber yang saya gunakan dalam penelitian ini telah saya sebutkan dengan jelas dan rinci dalam daftar Pustaka dan diidentifikasi dengan tepat dalam teks skripsi ini.

Saya menyatakan bahwa skripsi ini belum pernah diajukan sebagai karya yang sama untuk memperoleh gelar sarjana terapan transportasi dalam institusi manapun. Apabila terbukti bahwa skripsi ini merupakan hasil karya pihak lain, saya bersedia mempertanggungjawabkan sekaligus bersedia menerima sanksi berdasarkan aturan yang berlaku di Politeknik Keselamatan Transportasi Jalan.

Saya juga menyatakan bahwa semua data, hasil penelitian, dan temuan yang termuat dalam skripsi ini adalah hasil karya dan kontribusi saya sendiri, kecuali jika diindikasikan sebaliknya dengan jelas. Saya tidak menggunakan pekerjaan atau kontribusi pihak lain tanpa persetujuan dan atribusi yang sesuai.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya tanpa ada paksaan dari pihak manapun

Tegal, 18 Mei 2026
Yang Menyatakan



Hafiz Raditya Darmawan

KATA PENGANTAR

Puji dan syukur kami panjatkan ke hadirat Allah SWT, yang telah memberikan rahmat, nikmat, serta inayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir yang berjudul "**PENGEMBANGAN ALAT UKUR EMISI GAS BUANG DALAM KONDISI BERKENDARA**" dengan baik dan tepat waktu. Dalam momentum penuh kerendahan hati, penulis ingin mengucapkan apresiasi yang mendalam atas dukungan dan bimbingan yang tak ternilai selama proses penyusunan skripsi ini. Pada kesempatan ini, penulis ingin mengucapkan terima kasih yang tulus kepada:

1. Bapak Bambang Istiyanto, S.SiT., MT. selaku Direktur Politeknik Keselamatan Transportasi Jalan.
2. Bapak Dr. Ery Muthoriq M.T selaku Ketua Program Studi Teknologi Rekayasa Otomotif.
3. Ibu Destria Rahmita, S.ST., M.Sc. selaku Dosen Pembimbing I.
4. Bapak Faris Humami, S.Pd., M.Eng. selaku Dosen Pembimbing II.
5. Kedua Orang Tua saya yang telah membesarkan serta mendidik saya dengan penuh kasih sayang sampai saat ini.
6. Rekan-rekan Angkatan XXXIII dan adik tingkat serta semua pihak yang telah memberikan bantuan dan dukungan kepada penulis dalam proses penyusunan tugas akhir ini.

Penulis menyadari bahwa laporan skripsi ini mungkin masih memiliki kekurangan. Akhir kata, semoga skripsi ini dapat memberikan manfaat serta menjadi langkah awal yang berarti dalam perjalanan kami di dunia profesional. Terima kasih atas segala bantuan dan kesempatan berharga yang telah diberikan kepada kami.

Tegal, 18 Mei 2026
Yang menyatakan,



Hafiz Raditya Darmawan

DAFTAR ISI

HALAMAN PERSETUJUAN	i
HALAMAN PENGESAHAN	ii
HALAMAN PERNYATAAN	iii
KATA PENGANTAR	iv
DAFTAR ISI	v
DAFTAR TABEL	viii
DAFTAR GAMBAR	ix
DAFTAR LAMPIRAN	xii
INTISARI	xiii
ABSTRACT	xiv
BAB I PENDAHULUAN	1
I.1. Latar Belakang	1
I.2. Rumusan Masalah	2
I.3. Batasan Masalah	3
I.4. Tujuan Penelitian.....	3
I.5. Manfaat Penelitian	3
I.6. Sistematika Penulisan	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	5
II.1. Perkembangan Teknologi Pengendalian Emisi dan Standar Euro di Uni Eropa.....	5
II.2. Kontribusi Jumlah Kendaraan Bermotor Terhadap Polusi Udara di Indonesia.....	5
II.3. Dampak Emisi Terhadap Kualitas Udara dan Lingkungan.....	6
II.4. Regulasi UNECE R83 sebagai Dasar Pengujian Emisi Kendaraan Ringan.....	8

II.5. Perbandingan Regulasi UNECE R83 dengan Kebijakan Pengujian Emisi di Indonesia	9
II.6. Baku Mutu Emisi Gas Buang Kendaraan Bermotor Bensin.....	11
II.7. Dampak Kecepatan Kendaraan dan Temperatur terhadap Emisi Gas Buang.....	12
II.8. Worldwide Harmonized Light Vehicles Test Procedure (WLTP)....	12
II.9. Real Driving Emissions (RDE).....	14
II.10. Keterbatasan Pengujian Menggunakan <i>Exhaust Gas Analyzer</i>	15
II.11. Kesenjangan Pengujian RDE dan PEMS	15
II.12. Jenis Emisi Kendaraan Bermotor	16
II.13. Validasi dan Kalibrasi Alat Ukur Emisi Gas Buang Dalam Kondisi Berkendara	17
II.14. <i>Research and Development</i>	18
II.15. Penelitian Relevan	19
BAB III METODE PENELITIAN	23
III.1. Lokasi dan Waktu Penelitian	23
III.2. Alat dan Bahan.....	24
III.3. Kerangka Berpikir	38
III.4. Prosedur Penelitian.....	41
III.5. Alur Perakitan Alat.....	46
III.6. Diagram Sistem Kerja Alat.....	47
III.7. Perancangan Alat	48
III.8. Konsep Cara Kerja Alat	52
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	58
IV.1. Perakitan Alat.....	58
IV.2. Pemrograman Sistem.....	61
IV.3. Uji Kinerja Sensor Gas menggunakan Alat Ukur Emisi Statis	73
IV.4. Uji Kinerja Sensor GPS	77

IV.5. Uji Kinerja Sensor Suhu.....	79
IV.6. Uji Waktu Respon Sensor	80
IV.7. Hasil Pengujian Alat di Jalan Raya	81
BAB V PENUTUP	109
V.1. Kesimpulan	109
V.2. Saran	110
DAFTAR PUSTAKA	111
LAMPIRAN.....	117

DAFTAR TABEL

Tabel II.1 Perkembangan Jumlah Kendaraan Menurut Jenis (Unit)	6
Tabel II.2 Kriteria Kesehatan Emisi Gas Buang	7
Tabel II.3 Nilai Baku Mutu Emisi Gas Buang Kendaraan Bensin.....	11
Tabel II.4 Penelitian Relevan.....	19
Tabel III.1 Waktu Penelitian	23
Tabel III.2 Spesifikasi TGS-2611	27
Tabel III.3 Spesifikasi Neo-M8N GPS	30
Tabel III.4 Spesifikasi Cooling Fan.....	32
Tabel III.5 Spesifikasi Baterai.....	33
Tabel III.4 Matriks Data Pengujian	57
Tabel IV.1 Hasil Pengujian Black Box.....	72
Tabel IV.2 Uji Waktu Respon Sensor	80
Tabel IV.3 Rata-rata suhu gas buang	107

DAFTAR GAMBAR

Gambar II.1	Siklus WLTC pada Kecepatan Kendaraan terhadap Waktu....	13
Gambar III.1	MPV 2018	24
Gambar III.2	Laptop MSI GF65 Thin 10UE.....	24
Gambar III.3	Multimeter	25
Gambar III.4	Mikrokontroler ESP-32.....	25
Gambar III.5	Breadboard	26
Gambar III.6	TGS-2611	26
Gambar III.7	MICS-6814.....	28
Gambar III.8	Thermocouple Type-K dan Modul MAX6675	29
Gambar III.9	Neo-M8N GPS	29
Gambar III.10	Pushbutton	30
Gambar III.11	LED.....	31
Gambar III.12	<i>Cooling Fan</i>	32
Gambar III.13	Baterai	32
Gambar III.14	Kabel Jumper	33
Gambar III.15	Arduino IDE	34
Gambar III.16	Sketchup	34
Gambar III.17	Circuit Designer.....	35
Gambar III.18	MIT App Inventor	35
Gambar III.19	Firebase.....	36
Gambar III.20	Google Spreadsheet.....	37
Gambar III.21	Kerangka Berpikir	38
Gambar III.22	Bagan Alir Prosedur Penelitian	43
Gambar III.23	Bagan Alur Perakitan Alat.....	47
Gambar III.24	Diagram Sistem Kerja Alat.....	48
Gambar III.25	Desain Alat	49

Gambar III.26 Desain Alat Tampak Kiri	50
Gambar III.27 Desain Alat Tampak Depan	50
Gambar III.28 Desain Alat Tampak Kanan.....	51
Gambar III.29 Desain Pemasangan Alat.....	51
Gambar III.30 Diagram Alir Kinerja Alat	52
Gambar III.31 Rute Jalan Pinggiran Perkotaan	55
Gambar III.32 Rute Jalan Perkotaan.....	55
Gambar III.33 Rute Jalan Raya Bebas.....	55
Gambar III.34 Rute Jalan Tol.....	56
Gambar IV.1 Skema Rangkaian Alat pada Software Cirkuit Designer	58
Gambar IV.2 Hasil Pemasangan Komponen pada PCB.....	59
Gambar IV.3 Hasil pembuatan box alat.....	60
Gambar IV.4 IPerakitan Komponen Elektronik Pada Box Alat	60
Gambar IV.5 Pemasangan Sensor pada Pipa Knalpot	61
Gambar IV.6 Proses Pengunggahan Program	69
Gambar IV.7 Tampilan saat Upload Berhasil di Arduino IDE.....	69
Gambar IV.8 Tampilan Database Keseluruhan pada Realtime Database...70	
Gambar IV.9 Tampilan Realtime Database pada <i>real-time</i>	70
Gambar IV.10 Tampilan Aplikasi MIT App Inventor pada Smartphone	71
Gambar IV.11 Penyajian data pada Google Spreadsheet	71
Gambar IV.12 Gas Analyzer KOREA IYASAKA AET-4000 Q.....	74
Gambar IV.13 Uji Kinerja Alat pada Kendaraan	74
Gambar IV.14 Uji Kinerja Sensor MICS-6814 (CO)	75
Gambar IV.15 Uji Kinerja Sensor TGS-2611 (HC).....	76
Gambar IV.16 Uji Kinerja Sensor MICS-6814 (NOx)	77
Gambar IV.17 Uji Kinerja Sensor Neo-M8N GPS (km/jam).....	78
Gambar IV.18 Uji Kinerja Sensor Thermocouple Type-K.....	79

Gambar IV.19 Hasil Pengukuran Emisi Gas Buang pada Jalan Raya Pinggiran Perkotaan.....	85
Gambar IV.20 Hasil Pengukuran Emisi Gas Buang pada Jalan Raya Perkotaan	89
Gambar IV.21 Hasil Pengukuran Emisi Gas Buang pada Jalan Raya Bebas	94
Gambar IV.22 Hasil Pengukuran Emisi Gas Buang pada Jalan Tol	99
Gambar IV.23 Hasil Pengukuran Kecepatan dan Suhu pada Jalan Pinggiran Perkotaan	101
Gambar IV.24 Hasil Pengukuran Kecepatan dan Suhu pada Jalan Perkotaan.....	103
Gambar IV.25 Hasil Pengukuran Kecepatan dan Suhu pada Jalan Raya Bebas	105
Gambar IV.26 Hasil Pengukuran Kecepatan dan Suhu pada Jalan Tol....	106

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 Rumus Uji Kinerja Sensor	117
Lampiran 2 Langkah-langkah Pengambilan Data.....	120
Lampiran 3 Pembuatan Pipa Knalpot.....	124
Lampiran 4 Pembuatan Aplikasi MIT App Inventor	125
Lampiran 5 Pembuatan Google Spreadsheet.....	128
Lampiran 6 Tampilan Google Spreadsheet.....	132
Lampiran 7 Pengujian Alat	133
Lampiran 8 Uji Kinerja Sensor Gas.....	134
Lampiran 9 Uji Respon Sensor.....	135
Lampiran 10 Uji Sensor Kecepatan	136
Lampiran 11 Uji Kinerja Sensor Suhu.....	139
Lampiran 12 Hasil Uji Kinerja Sensor MICS-6814 (CO).....	142
Lampiran 13 Hasil Uji Kinerja Sensor TGS-2611 (HC)	144
Lampiran 14 Hasil Uji Kinerja Sensor MICS-6814 (NOx).....	146
Lampiran 15 Hasil Uji Kinerja Sensor Neo-M8N GPS	148
Lampiran 16 Hasil Uji Kinerja Sensor Thermocouple Type-K	150

INTISARI

Peningkatan jumlah kendaraan bermotor dapat berdampak pada meningkatnya emisi gas buang yang berpengaruh terhadap kualitas udara dan kesehatan manusia. Pengujian emisi yang umum dilakukan secara statis belum sepenuhnya menggambarkan kondisi kendaraan saat digunakan di jalan raya. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan alat ukur emisi gas buang yang dapat digunakan dalam kondisi berkendara dan mampu menampilkan data secara real-time.

Penelitian ini menggunakan metode Research and Development (R&D) level 3 karena penelitian dilakukan untuk mengembangkan alat yang telah ada menjadi sistem yang lebih lengkap. Kendaraan uji yang digunakan adalah mobil penumpang jenis MPV tahun 2018 berbahan bakar bensin dengan kapasitas mesin 1.496 cc. Alat yang dirancang terdiri dari sensor MICS-6814 untuk mendeteksi CO dan NO_x, sensor TGS-2611 untuk mendeteksi HC, sensor Neo-M8N GPS untuk membaca kecepatan kendaraan, serta Thermocouple Type-K untuk mengukur suhu gas buang. Sistem monitoring dikembangkan menggunakan MIT App Inventor yang terintegrasi dengan Firebase dan Google Spreadsheet, sehingga data dapat ditampilkan dan tersimpan otomatis setiap 1 detik selama pengujian.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa alat berhasil dirancang dan dapat bekerja dalam kondisi berkendara. Hasil uji kinerja sensor menunjukkan persentase error sebesar 3,89% pada sensor CO, 1,19% pada sensor HC, 1,186% pada sensor GPS, dan 0,695% pada sensor suhu. Tingkat error NO_x tidak dihitung karena alat pembanding Gas Analyzer KOREA IYASAKA AET-4000 Q yang tersedia pada saat pengujian tidak menampilkan nilai NO_x sebagai data acuan. Dengan demikian, pembacaan NO_x pada penelitian ini digunakan untuk melihat respon dan perubahan tren sensor, bukan untuk menyatakan akurasi NO_x terhadap alat standar. Rata-rata waktu respon sensor sebesar 0,3866 detik, sehingga alat mampu mendeteksi perubahan emisi secara cepat dan bermanfaat sebagai media pemantauan emisi gas buang pada kondisi berkendara.

Kata kunci: emisi gas buang, kendaraan, ESP32, sensor gas, real-time, MIT App Inventor

ABSTRACT

The increasing number of motor vehicles contributes to higher exhaust emissions, which can affect air quality and human health. Conventional emission testing is generally carried out under static conditions, so it does not fully represent the actual condition of vehicles while being driven on the road. Therefore, this study aims to develop an exhaust gas emission measuring device that can be used under driving conditions and display measurement data in real time.

This research used the Research and Development (R&D) method at level 3 because the study developed an existing device into a more complete system. The test vehicle was a 2018 gasoline MPV passenger car with a 1,496 cc engine. The developed device consists of a MICS-6814 sensor to detect CO and NO_x, a TGS-2611 sensor to detect HC, a Neo-M8N GPS sensor to measure vehicle speed, and a Type-K Thermocouple to measure exhaust gas temperature. The monitoring system was developed using MIT App Inventor and integrated with Firebase and Google Spreadsheet, allowing the data to be displayed and stored automatically every second during the test.

The results show that the device was successfully designed and operated under driving conditions. The sensor performance test showed an error percentage of 3.89% for CO, 1.19% for HC, 1.186% for GPS speed measurement, and 0.695% for temperature measurement. The NO_x error value was not calculated because the available KOREA IYASAKA AET-4000 Q Gas Analyzer did not display NO_x values as reference data during the test. Therefore, NO_x readings in this study are used to observe sensor response and trend changes, not to state NO_x accuracy against a standard instrument. The average sensor response time was 0.3866 seconds, indicating that the device can detect emission changes quickly and can be used as a monitoring medium for exhaust gas emissions under driving conditions.

Keywords: exhaust gas emissions, vehicle, ESP32, gas sensor, real-time, MIT App Inventor