

TESIS

EVALUASI KINERJA EMISI CEROBONG SEBAGAI UPAYA PENERAPAN GREEN MANUFACTURING MENGGUNAKAN METODE LIFE CYCLE ASSESMENT (LCA) DI PERUSAHAAN SPAREPART OTOMOTIF

Diajukan kepada Fakultas Sains dan Teknologi
Universitas Islam Negeri Sunan Kalijaga Yogyakarta
Untuk memenuhi persyaratan memperoleh gelar Magister Teknik (M.T.)



Disusun oleh :

NI WAYAN PUJI EFPRYANI

NIM : 24206061002

PROGRAM STUDI MAGISTER TEKNIK INDUSTRI

FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI

UNIVERSITAS ISLAM NEGERI SUNAN KALIJAGA

YOGYAKARTA

2026



KEMENTERIAN AGAMA
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI SUNAN KALIJAGA
FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI

Jl. Marsda Adisucipto Telp. (0274) 540971 Fax. (0274) 519739 Yogyakarta 55281

PENGESAHAN TUGAS AKHIR

Nomor : B-2096/Un.02/DST/PP.00.9/08/2026

Tugas Akhir dengan judul : Evaluasi Kinerja Emisi Cerobong Sebagai Upaya Penerapan Green Manufacturing Menggunakan Metode Life Cycle Assesment (LCA) di Perusahaan Sparepart Otomotif

yang dipersiapkan dan disusun oleh:

Nama : NI WAYAN PUJI EFPRYANI, S.T, C.PS
Nomor Induk Mahasiswa : 24206061002
Telah diujikan pada : Selasa, 18 Agustus 2026
Nilai ujian Tugas Akhir : A

dinyatakan telah diterima oleh Fakultas Sains dan Teknologi UIN Sunan Kalijaga Yogyakarta

TIM UJIAN TUGAS AKHIR

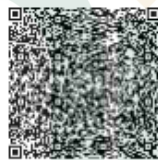


Valid ID: 6a880152f349b

Ketua Sidang

Dr. Ir. Ira Setyaningsih, S.T., M.Sc, IPM, ASEAN Eng.

SIGNED

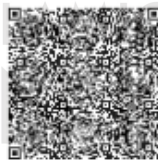


Valid ID: 6a880f96be9a

Penguji I

Dr. Ir. Trio Yonathan Teja Kusuma, S.T., M.T., IPM., ASEAN Eng

SIGNED



Valid ID: 6a8b6903ddca2

Yogyakarta, 18 Agustus 2026

UIN Sunan Kalijaga

Dekan Fakultas Sains dan Teknologi

Prof. Dr. Dra. Hj. Khurul Wardati, M.Si.

SIGNED

SURAT PERSETUJUAN TESIS

Setelah membaca, meneliti, memberikan petunjuk dan melakukan perbaikan seperlunya, maka kami selaku pembimbing berpendapat bahwa tesis mahasiswa:

Nama : Ni Wayan Puji Efpriyani
NIM : 24206061002
Jurusan/Semester : Magister Teknik Industri / 4
Fakultas : SAINS Dan eknologi
Judul Tesis : Evaluasi Kinerja Emisi Cerobong Sebagai Upaya Penerapan Green Manufacturing Menggunakan Metode *Life Cycle Assesment* (LCA) di Perusahaan Sparepart Otomotif

Sudah dapat diajukan kembali pada Program Studi Magister Teknik Industri Fakultas SAINS Dan Teknologi UIN Sunan Kalijaga Yogyakarta sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Magister Teknik (Strata Dua) pada program studi Magister Teknik Industri.

Dengan ini kami mengharapkan agar Tesis mahasiswa tersebut di atas segera di munaqosyahkan.

Yogyakarta, 04 Agustus 2026

Pembimbing I

Pembimbing II

Dr. Ir. Ira Setyaningsih, S.T.,

M.Sc., IPM., ASEAN Eng

NIP : 19790326 200604 2 002

Ir. Khusna Dwijayanti, S.T.,

M.Eng., Ph.D, ASEAN Eng

NIP : 19851212 201903 2 018

SURAT PERNYATAAN KEASLIAN PENELITIAN

Yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Ni Wayan Puji Efpryani
NIM : 24206061002
Fakultas : SAINS Dan Teknologi
Jenjang : Magister
Program Studi : Teknik Industri

Menyatakan dengan sepenuhnya bahwa tesis saya yang berjudul "**Evaluasi Kinerja Emisi Cerobong Sebagai Upaya Penerapan Green Manufacturing Menggunakan Metode *Life Cycle Assesment* (LCA) di Perusahaan Sparepart Otomotif**" adalah hasil karya pribadi yang tidak mengandung plagiarisme dan tidak berisi materi yang dipublikasikan atau di tulis orang lain, kecuali bagian-bagian tertentu yang penulis ambil sebagai acuan dengan tata cara yang dibenarkan secara ilmiah.

Jika terbukti pernyataan ini tidak benar, maka penulis siap mempertanggungjawabkan sesuai hukum yang berlaku.

Yogyakarta, 04 Agustus 2026

Saya yang menyatakan,



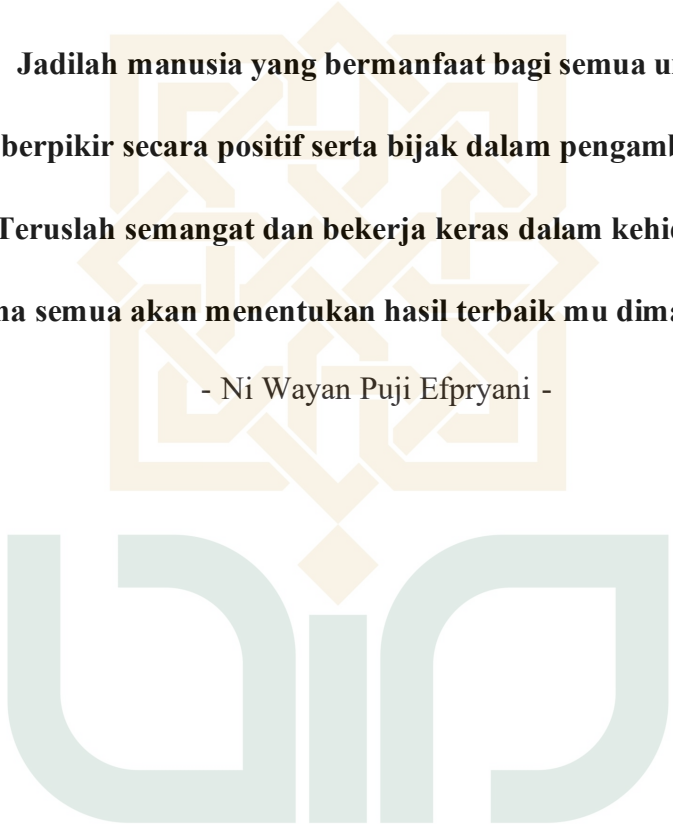
Ni Wayan Puji Efpryani

NIM. 24206061002

MOTTO

**Jadilah manusia yang bermanfaat bagi semua umat,
dan selalu berpikir secara positif serta bijak dalam pengambilan keputusan,
Teruslah semangat dan bekerja keras dalam kehidupan
karna semua akan menentukan hasil terbaik mu dimasa depan**

- Ni Wayan Puji Efpriyani -



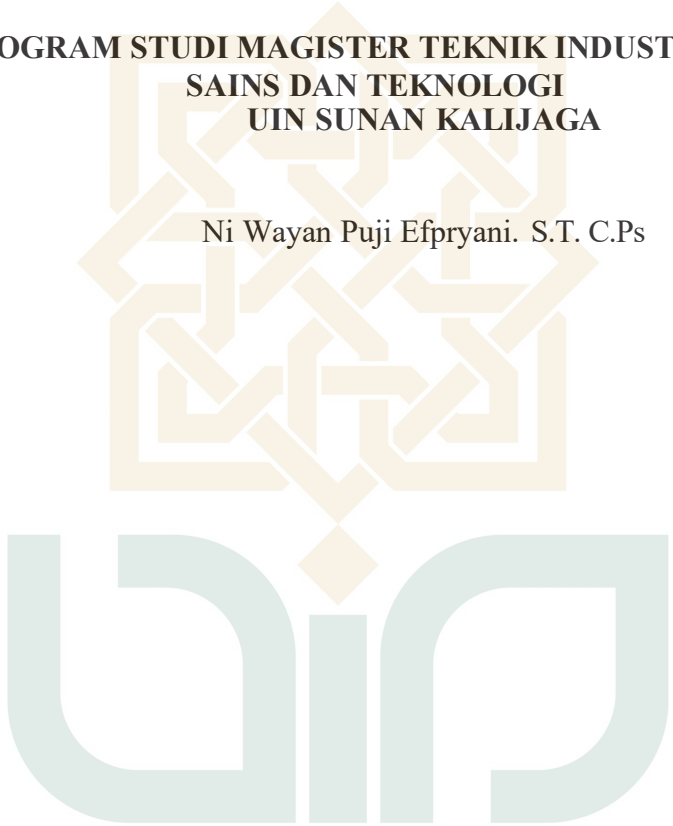
STATE ISLAMIC UNIVERSITY
SUNAN KALIJAGA
YOGYAKARTA

HALAMAN PERSEMBAHAN

Tesis ini saya persembahkan untuk

**PROGRAM STUDI MAGISTER TEKNIK INDUSTRI FAKULTAS
SAINS DAN TEKNOLOGI
UIN SUNAN KALIJAGA**

Ni Wayan Puji Efpriyani. S.T. C.Ps



STATE ISLAMIC UNIVERSITY
SUNAN KALIJAGA
Y O G Y A K A R T A

KATA PENGANTAR

Dengan menyebut nama Allah SWT puji serta syukur yang kami panjatkan, shalawat dan salam tak lupa terlimpahkan kepada junjungan Nabi Besar Muhammad SAW. Karena atas rahmat dan karunia-Nya sehingga penyusun bisa menyelesaikan Tesis dengan judul **“Evaluasi Kinerja Emisi Cerobong Sebagai Upaya Penerapan Green Manufacturing Menggunakan Metode Life Cycle Assesment (LCA) di Perusahaan Sparepart otomotif”**. Tesis ini sangat penting bagi penyusun karena untuk memenuhi salah satu syarat dalam mendapatkan gelar sarjana (MT) Program Studi Magister Teknik Industri Fakultas Sains Dan Teknologi UIN Sunan Kalijaga Yogyakarta.

Dalam penyusunan Tesis ini diperlukan data, informasi-informasi di samping petunjuk untuk menyelesaikannya, oleh karena itu tidak lupa penulis juga mengucapkan terima kasih kepada:

1. Ibu Dr. Dra. Hj. Khurul Wardati, M.Si., Dekan Program Studi Magister Teknik Industri Fakultas Sains Dan Teknologi Uin Sunan Kalijaga Yogyakarta.
2. Ibu Dr. Ir. Ira Setyaningsih, S.T., M.Sc, IPM, ASEAN Eng., Ketua Program Studi dan Dosen Penasihat Akademik Magister Teknik Industri Fakultas Sains Dan Teknologi Uin Sunan Kalijaga Yogyakarta serta Selaku Dosen Pembimbing I.
3. Ibu Dr. Ir. Khusna Dwijayanti, ST., M.Eng., Ph.D, ASEAN Eng., Selaku Dosen Pembimbing II
4. Orang tua penulis, yaitu Alm. Bapak I Nyoman Rurus Andika

dan Alm. Ibu Erat Ratna Ningsih yang selama ini memberi kasih sayang, doa, dukungan, dan motivasi kepada penulis selama masa hidupnya.

5. Suami saya, Wisnu Aji, ST dan anak saya, Maureen Ayesha Aji serta Keluarga yang selalu hadir memberi dukungan serta motivasi kepada penulis dalam pengerjaan tugas tesis ini.

Penulis juga mengucapkan terima kasih kepada keluarga besar Magister Teknik Industri UIN Sunan Kalijaga Yogyakarta yang selalu memberikan dukungan kepada saya selama ini. Semoga Tugas Tesis ini dapat bermanfaat, baik sebagai sumber informasi maupun sumber inspirasi, bagi pembaca.

Yogyakarta, 04 Agustus 2026 Penulis,



Ni Wayan Puji Efpriyani

STATE ISLAMIC UNIVERSITY
SUNAN KALIJAGA
YOGYAKARTA

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL.....	
LEMBAR PENGESAHAN THESIS.....	i
SURAT PERSETUJUAN THESIS	ii
SURAT KEASLIAN THESIS	iii
MOTTO	iv
HALAMAN PERSEMBAHAN.....	v
KATA PENGANTAR.....	vi
DAFTAR ISI	vii
DAFTAR GAMBAR.....	xi
DAFTAR TABEL.....	xiii
DAFTAR LAMPIRAN.....	xiv
ABSTRAK.....	xv
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1. Latar Belakang.....	1
1.2. Pertanyaan Penelitian.....	3
1.3. Tujuan Penelitian	4
1.4. Manfaat Penelitian	5
1.5. Batasan Penelitian	5
1.6. Sistematika Penelitian	6
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	7
2.1. Penelitian Terdahulu.....	7
2.2. Landasan Teori	27
2.2.1. Identifikasi Sumber Emisi pada Proses Pembuatan Baut.....	27
2.2.2. Neraca Masa.....	28
2.2.3. Perhitungan Simulasi Dispersi	29
2.3. Kegiatan Pembuangan Emisi	31
2.4. ISO 14001	32
2.4.1. Evaluasi Emisi Cerobong Berdasarkan Hasil Uji Emisi	32
2.4.2. Emisi Cerobong sebagai Indikator Kinerja Lingkungan	34
2.5. Life Cycle Assessment.....	34

2.6. Kegiatan Operasional Mendukung Penerapan Prinsip Green Manufacturing	37
BAB III METODE PENELITIAN	39
3.1. Objek Penelitian.....	39
3.2. Tempat dan Waktu Penelitian.....	41
3.3. Metode Pengumpulan Data	41
3.3.1. Laporan Pengujian Emisi Cerobong.....	42
3.3.2. Staff Ahli Emisi Cerobong	42
3.3.3. Pihak Manajemen dan Operator Unit Produksi.....	42
3.3.4. Expert Akademisi Bidang Teknik lingkungan	43
3.4. Teknik Pengumpulan Data.....	43
3.5. Diagram Alir Penelitian	46
BAB IV PEMBAHASAN	52
4.1. Gambaran Umum Perusahaan Sparepart Otomotif	52
4.1.1. Proses Kegiatan Operasional Perusahaan Sparepart Otomotif	52
4.2. Pengumpulan Data	58
4.2.1. Identifikasi Sumber Emisi pada Proses Pembuatan Baut.....	58
4.2.2. Karakteristik Sumber Emisi.....	60
4.2.3. Neraca Massa	61
4.2.4. Desain Sarana dan Prasarana Sistem Pengendalian Emisi	71
4.3. Rona Lingkungan Awal.....	76
4.3.1. Wilayah Udara Ambien Penerima.....	76
4.3.2. Informasi Data Meteorologi	76
4.3.3. Perhitungan Simulasi Dispersi	79
4.3.4. Perbaikan Hasil Emisi yang diusulkan	90
4.3.5. Efektifitas dari Perbaikan	92
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN.....	95
5.1. Kesimpulan.....	95
5.2. Saran	97
DAFTAR PUSTAKA.....	98
LAMPIRAN 1 HASIL UJI CEROBONG PERIODE JAN-JUN 2025	100

LAMPIRAN 2 HASIL UJI CEROBONG PERIODE JUN-DEC 2025.....	102
LAMPIRAN 1 HASIL UJI CEROBONG PERIODE JAN-JUN 2026	104
DAFTAR RIWAYAT HIDUP.....	106



DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1. Hubungan antar Komponen dalam LCA	36
Gambar 3.1. Peralatan dan aktifitas Pengambilan Sampling dengan menggunakan alat IMPINGER.....	43
Gambar 3.2. Diagram Alir Penelitian.....	51
Gambar 4.1. Diagram Alir Proses Produksi Perusahaan Sparepart Otomotif.....	52
Gambar 4.2. Receiving Material	53
Gambar 4.3. Heading.....	53
Gambar 4.4. Thread Rolling.....	54
Gambar 4.5. Heat Treatment	55
Gambar 4.6. Surface Treatment.....	55
Gambar 4.7. Sorting.....	56
Gambar 4.8. Logistics / Packing	57
Gambar 4.9. Delivery.....	57
Gambar 4.10. Grafik Konsentrasi HCl vs Faktor Emisi.....	63
Gambar 4.11. Komposisi LPG berdasarkan MSDS.....	67
Gambar 4.12. Desain <i>Wet Scrubber</i>	69
Gambar 4.13. Layout Sumber Emisi di Perusahaan Sparepart Otomotif	75
Gambar 4.14. Windrose	77
Gambar 4.15. Windrose Periode Januari-Juni 2025	77
Gambar 4.16. Windrose Periode Juni-Desember 2025.....	78
Gambar 4.17. Jumlah Reseptor pada Peta Sebaran Emisi menggunakan Aplikasi Aermod	80
Gambar 4.18. Model Sebaran Emisi HCL Rata-rata 24 jam di Perusahaan Sparepart Otomotif.....	81
Gambar 4.19. Model Sebaran Emisi CO2 Rata-rata 24 jam di Perusahaan Sparepart Otomotif.....	83

Gambar 4.20. Model Sebaran Emisi NO ₂ Rata-rata 24 jam di Perusahaan Sparepart Otomotif.....	86
Gambar 4.21. Model Sebaran Emisi Partikulat Rata-rata 24 jam di Perusahaan Sparepart Otomotif	88
Gambar 4.22. Filter Exhaust Ducting (sebelum dilakukan Maintenance)	91
Gambar 4.23. Filter Exhaust Ducting (sesudah dilakukan Maintenance).....	92



DAFTAR TABEL

Tabel 2.1. Penelitian Terdahulu.....	14
Tabel 2.2. Identifikasi Nomor Emisi di Perusahaan Sparepart Otomotif.....	27
Tabel 2.3. Baku Mutu Emisi	28
Tabel 3.1 Jadwal Penelitian.....	41
Tabel 4.1. Identifikasi Sumber Emisi di Perusahaan Sparepart Otomotif.....	58
Tabel 4.2. Karakteristik Sumber Emisi	60
Tabel 4.3. Komposisi dan Penggunaan Bahan Kimia	61
Tabel 4.4. Neraca Massa pada Plating Kapasitas 600 Kg.....	66
Tabel 4.5. Komposisi RX Gas dari Oksidasi Gas LPG dan Methanol dengan Oksigen Terbatas	68
Tabel 4.6. Neraca Pembakaran Gas	69
Tabel 4.7. Bahan Baku dan Bahan Penolong.....	69
Tabel 4.8. Jenis dan Kapasitas Produksi.....	70
Tabel 4.9. Konsumsi Energi	70
Tabel 4.10. Design dan Dimensi <i>Wet Scrubber / AC (Activated Carbon) Tower</i>	71
Tabel 4.11. Spesifikasi <i>Wet Scrubber</i>	71
Tabel 4.12. Bahan Bakar Alat Pengendalian Emisi.....	72
Tabel 4.13. Sifat Emisi dan Kecepatan Alir Sumber Emisi	73
Tabel 4.14. Effisiensi Pengendalian Emisi berdasarkan Neraca Massa.....	73
Tabel 4.15. Data Suhu dan Kelembapan Udara di Kabupaten Karawang Jawa Barat	76
Tabel 4.16. Schedule Maintenance Filter Cerobong.....	90

DAFTAR LAMPIRAN

LAMPIRAN 1 : HASIL UJI CEROBONG PERIODE JAN-JUN 2025

Lampiran 1.1. Hasil Uji Cerobong C-01 Periode Jan-Jun 2025	87
Lampiran 1.2. Hasil Uji Cerobong C-02 Periode Jan-Jun 2025	97
Lampiran 1.3. Hasil Uji Cerobong C-03 Periode Jan-Jun 2025	97
Lampiran 1.4. Hasil Uji Cerobong C-04 Periode Jan-Jun 2025	98
Lampiran 1.5. Hasil Uji Cerobong C-05 Periode Jan-Jun 2025	98
Lampiran 1.6. Hasil Uji Cerobong C-06 Periode Jan-Jun 2025	98

LAMPIRAN 2 : HASIL UJI CEROBONG PERIODE JUN-DEC 2025

Lampiran 2.1. Hasil Uji Cerobong C-01 Periode Jun-Dec 2025	99
Lampiran 2.2. Hasil Uji Cerobong C-02 Periode Jun-Dec 2025	99
Lampiran 2.3. Hasil Uji Cerobong C-03 Periode Jun-Dec 2025	99
Lampiran 2.4. Hasil Uji Cerobong C-04 Periode Jun-Dec 2025	100
Lampiran 2.5. Hasil Uji Cerobong C-05 Periode Jun-Dec 2025	100
Lampiran 2.6. Hasil Uji Cerobong C-06 Periode Jun-Dec 2025	100

LAMPIRAN 3 : HASIL UJI CEROBONG PERIODE JAN-JUN 2026

Lampiran 3.1 Hasil Uji Cerobong C-01 Periode Jan-Jun 2026	101
Lampiran 3.2 Hasil Uji Cerobong C-01 Periode Jan-Jun 2026	101
Lampiran 3.3 Hasil Uji Cerobong C-01 Periode Jan-Jun 2026	101
Lampiran 3.4 Hasil Uji Cerobong C-01 Periode Jan-Jun 2026	102
Lampiran 3.5 Hasil Uji Cerobong C-01 Periode Jan-Jun 2026	102
Lampiran 3.6 Hasil Uji Cerobong C-01 Periode Jan-Jun 2026	102

ABSTRAK

Peningkatan aktivitas industri manufaktur berpotensi meningkatkan emisi gas buang yang berdampak terhadap kualitas lingkungan. Penelitian ini bertujuan mengevaluasi kinerja emisi cerobong pada perusahaan manufaktur suku cadang otomotif sebagai upaya penerapan *green manufacturing* menggunakan metode *Life Cycle Assessment* (LCA), menganalisis kesesuaian emisi terhadap baku mutu, mengkaji pola dispersi menggunakan AERMOD, serta merumuskan upaya perbaikan. Penelitian menggunakan pendekatan deskriptif kuantitatif dengan data primer berupa hasil pengujian emisi cerobong dan observasi lapangan serta data sekunder berupa konsumsi bahan bakar, proses produksi, spesifikasi cerobong, dan data meteorologi. Analisis LCA digunakan untuk mengidentifikasi dampak lingkungan, sedangkan hasil pengujian emisi dibandingkan dengan baku mutu dan distribusi pencemar dianalisis menggunakan AERMOD. Hasil penelitian menunjukkan bahwa LPG merupakan kontributor terbesar terhadap dampak lingkungan berdasarkan analisis LCA. Seluruh parameter emisi yang diukur, yaitu partikulat, SO₂, NO₂, CO, HCl, dan CO₂, masih memenuhi baku mutu yang berlaku. Simulasi AERMOD menunjukkan konsentrasi pencemar tertinggi berada di sekitar sumber emisi dan menurun seiring bertambahnya jarak, dengan konsentrasi ambien tetap di bawah baku mutu kualitas udara. Observasi menunjukkan adanya akumulasi debu dan residu pada filter *exhaust ducting* yang berpotensi menurunkan kinerja pengendalian emisi. *Maintenance* dan pembersihan filter menghasilkan efektivitas penurunan partikulat sebesar 36,73% pada C-01, 25,00% pada C-05, 22,22% pada C-03, 12,50% pada C-04, dan 9,76% pada C-06, sedangkan C-02 sebesar 0%. Rata-rata efektivitas enam cerobong mencapai 17,70%. Hasil tersebut menunjukkan bahwa *maintenance* filter *exhaust ducting* dapat menjadi strategi *eco-efficiency* untuk meningkatkan kinerja pengendalian emisi.

Kata Kunci: *Green Manufacturing, Life Cycle Assessment (LCA), Emisi Cerobong, AERMOD, Eco-efficiency, Exhaust Ducting.*

ABSTRACT

The increasing activities of the manufacturing industry have the potential to increase exhaust emissions that may adversely affect environmental quality. This study aims to evaluate stack emission performance in an automotive spare parts manufacturing company as an effort to implement green manufacturing using the Life Cycle Assessment (LCA) method, assess emission compliance with applicable standards, analyze emission dispersion using AERMOD, and formulate improvement strategies. The study employed a quantitative descriptive approach using primary data from stack emission testing and field observations, as well as secondary data including fuel consumption, production processes, stack specifications, and meteorological data. LCA was used to identify environmental impacts, while emission test results were compared with applicable standards and pollutant dispersion was analyzed using AERMOD. The results showed that LPG was the largest contributor to environmental impacts based on the LCA analysis. All measured parameters, including particulate matter, SO₂, NO₂, CO, HCl, and CO₂, complied with the applicable emission standards. The AERMOD simulation showed that pollutant concentrations were highest near the emission sources and decreased with increasing distance, while ambient concentrations remained below the applicable air quality standards. Field observations revealed dust and residue accumulation on the exhaust ducting filters, which may reduce emission control performance. Filter maintenance reduced particulate emissions by 36.73% at C-01, 25.00% at C-05, 22.22% at C-03, 12.50% at C-04, and 9.76% at C-06, while C-02 showed 0% effectiveness. The overall average effectiveness was 17.70%, indicating that filter maintenance can serve as an eco-efficiency strategy for improving emission control performance.

Keywords: Green Manufacturing, Life Cycle Assessment (LCA), Stack Emissions, AERMOD, Eco-efficiency, Exhaust Ducting.

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Perkembangan sektor industri manufaktur di Indonesia semakin pesat, termasuk industri komponen otomotif yang memegang peranan penting dalam rantai pasok kendaraan roda empat dan roda dua. Perusahaan Sparepart otomotif merupakan industri manufaktur logam yang memproduksi baut roda empat atau roda dua. Proses produksinya melibatkan beberapa tahapan seperti penempaan (*forging*), pembentukan, heat treatment dan surface treatment, dalam proses tersebut yang umumnya menghasilkan emisi cerobong sebagai dampak penggunaan energi termal dan pembakaran bahan bakar.

Peningkatan aktivitas produksi pada industri manufaktur mendorong peningkatan kebutuhan energi dan berpotensi menghasilkan emisi udara dari berbagai proses produksi, terutama emisi HCl, CO₂, NO₂, dan partikulat. Pada saat pelaksanaan audit oleh Dinas Lingkungan Hidup, ditemukan bahwa perusahaan belum memiliki pengujian emisi cerobong yang sesuai dengan ketentuan Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan Nomor 11 Tahun 2021. Kondisi tersebut menunjukkan adanya permasalahan dalam pemenuhan aspek pemantauan dan evaluasi kinerja lingkungan, khususnya terhadap emisi yang dihasilkan dari proses produksi.

Pengujian emisi cerobong diperlukan untuk mengetahui konsentrasi dan beban pencemar yang dilepaskan secara langsung dari sumber emisi. Namun, hasil pengujian cerobong pada dasarnya hanya menggambarkan kondisi emisi pada titik sumber dan pada waktu pengukuran tertentu. Hasil tersebut belum dapat memberikan informasi mengenai pola penyebaran pencemar di atmosfer, konsentrasi pencemar pada wilayah di sekitar perusahaan, maupun lokasi yang berpotensi menerima paparan emisi. Selain itu, pemenuhan hasil pengujian terhadap baku mutu belum sepenuhnya menggambarkan tingkat efisiensi penggunaan energi dan dampak lingkungan secara keseluruhan. Suatu sumber emisi dapat memenuhi baku mutu, tetapi tetap memiliki peluang untuk dilakukan perbaikan apabila penggunaan energi dan sumber daya dalam proses produksinya

masih tinggi atau memberikan kontribusi terhadap dampak lingkungan tertentu. Keterbatasan tersebut menjadi penting karena proses produksi, khususnya proses *Heat Treatment*, menggunakan LPG sebagai sumber energi untuk menghasilkan panas. Penggunaan LPG tidak hanya berkaitan dengan emisi yang dikeluarkan melalui cerobong, tetapi juga menjadi bagian dari *Life Cycle Inventory* (LCI) yang dapat memberikan kontribusi terhadap berbagai kategori dampak lingkungan dalam *Life Cycle Assessment* (LCA), seperti *Global Warming Potential* (GWP). Oleh karena itu, evaluasi kinerja lingkungan tidak cukup dilakukan hanya berdasarkan hasil pengujian emisi dan kesesuaiannya terhadap baku mutu, tetapi perlu mempertimbangkan penggunaan energi serta potensi dampak lingkungan yang dihasilkan sepanjang proses produksi.

Berdasarkan kondisi tersebut, diperlukan pendekatan yang mampu mengevaluasi kinerja emisi baik pada sumbernya maupun terhadap lingkungan sekitar dan dampak lingkungan secara keseluruhan. Pengujian emisi cerobong digunakan untuk mengetahui konsentrasi dan beban emisi aktual dari masing-masing sumber emisi. Selanjutnya, pemodelan dispersi menggunakan AERMOD digunakan untuk mengetahui pola penyebaran dan konsentrasi pencemar di lingkungan sekitar berdasarkan karakteristik sumber emisi dan kondisi meteorologi. Sementara itu, metode *Life Cycle Assessment* (LCA) digunakan untuk mengidentifikasi kontribusi penggunaan energi dan material terhadap potensi dampak lingkungan serta menentukan proses yang menjadi *hotspot* lingkungan.

Integrasi hasil pengujian emisi cerobong, pemodelan AERMOD, dan LCA selanjutnya digunakan sebagai dasar dalam menentukan upaya *improvement*. Upaya perbaikan tidak hanya diarahkan untuk memenuhi baku mutu emisi, tetapi juga untuk meningkatkan efisiensi proses, mengoptimalkan penggunaan energi, mengurangi beban pencemar, serta menurunkan potensi dampak lingkungan. Salah satu upaya yang dapat dievaluasi adalah *maintenance* dan pembersihan *filter exhaust ducting* sebagai tindakan pengendalian emisi pada sumber, yang efektivitasnya dapat dinilai melalui perbandingan hasil emisi sebelum dan sesudah perbaikan. Selain itu, hasil identifikasi hotspot LCA dapat digunakan sebagai dasar untuk memberikan rekomendasi optimalisasi penggunaan energi pada proses produksi. Dengan demikian, penelitian ini diharapkan dapat mendukung

penerapan *green manufacturing* yang tidak hanya berorientasi pada kepatuhan terhadap regulasi, tetapi juga pada efisiensi energi, pengurangan emisi, dan peningkatan kinerja lingkungan secara berkelanjutan.

1.2. Pertanyaan Penelitian

Industri manufaktur logam di Indonesia, termasuk industri komponen otomotif, merupakan sektor yang terus berkembang seiring meningkatnya permintaan kendaraan roda Empat dan roda dua. Salah satu proses penting dalam industri tersebut adalah produksi baut mobil yang melibatkan tahapan pemanasan material, pembentukan, hingga heat treatment. Proses-proses tersebut umumnya menggunakan energi termal yang berasal dari pembakaran bahan bakar, sehingga menghasilkan emisi cerobong seperti HCl, CO₂, NO₂ dan Partikulat.

Saat ini, sebagian besar industri manufaktur logam di Indonesia masih menghadapi tantangan dalam mengendalikan dan menurunkan emisi gas buang akibat penggunaan mesin pembakaran dengan efisiensi yang bervariasi. Selain itu, pemantauan emisi yang dilakukan perusahaan umumnya masih bersifat pemenuhan regulasi (*compliance*), belum mengarah pada evaluasi komprehensif untuk mendukung penerapan *green manufacturing*. Padahal, dengan meningkatnya kebutuhan industri otomotif nasional dan semakin ketat standar lingkungan, perusahaan dituntut untuk meningkatkan kinerja lingkungannya melalui pendekatan produksi bersih, penggunaan energi yang lebih efisien, dan pengurangan polusi udara.

Salah satu pendekatan evaluasi lingkungan yang paling relevan adalah *Life Cycle Assessment* (LCA), yang dapat mengidentifikasi besarnya kontribusi emisi cerobong terhadap potensi pencemaran udara serta proses mana yang memberikan dampak lingkungan paling signifikan. Sayangnya, penerapan LCA dalam industri manufaktur logam di Indonesia masih sangat terbatas akibat minimnya data terintegrasi, kurangnya kesadaran industri, serta keterbatasan analisis teknis dalam menentukan strategi *green manufacturing* berbasis bukti.

Perusahaan Sparepart Otomotif sebagai salah satu industri manufaktur baut mobil menghadapi kondisi serupa. Proses produksi yang menggunakan furnace dan peralatan pemanas menghasilkan emisi cerobong yang perlu dievaluasi secara menyeluruh untuk mengetahui kesesuaiannya dengan baku mutu

emisi industri logam dan kontribusinya terhadap dampak lingkungan. Evaluasi ini diperlukan agar perusahaan dapat menyusun strategi pengendalian emisi yang lebih efektif dan mendorong penerapan *green manufacturing* secara berkelanjutan. Dengan demikian, berdasarkan uraian permasalahan tersebut maka dibuat pertanyaan penelitian sebagai berikut:

- a. Bagaimana karakteristik sumber emisi cerobong dan konsentrasi parameter pencemar serta bagaimana pola dispersi dan konsentrasi pencemar di udara ambien berdasarkan pemodelan AERMOD?
- b. Bagaimana hasil evaluasi kinerja emisi cerobong yang dihasilkan dari proses produksi untuk menganalisis parameter menggunakan metode *Life Cycle Assessment* (LCA) dalam menilai dampak lingkungan?
- c. Upaya *improvement* apa yang dapat dilakukan untuk mengoptimalkan proses pembakaran dan menurunkan emisi cerobong berdasarkan hasil LCA, pengujian emisi, pemodelan AERMOD, dan observasi lapangan?
- d. Bagaimana efektivitas dari *improvement* dalam meningkatkan kinerja sistem cerobong dan menurunkan emisi pada proses produksi yang menggunakan bahan bakar LPG di Perusahaan Sparepart Otomotif?

1.3. Tujuan Penelitian

Adapun tujuan penelitian ini adalah sebagai berikut :

- a. Menganalisis karakteristik sumber emisi cerobong berdasarkan parameter sumber dan konsentrasi pencemar yang dihasilkan, serta mengevaluasi pola sebaran dan konsentrasi pencemar di udara ambien berdasarkan hasil pemodelan dispersi menggunakan AERMOD.
- b. Mengevaluasi kinerja emisi cerobong yang dihasilkan dari proses produksi dengan menggunakan metode *Life Cycle Assessment* (LCA) guna mengidentifikasi parameter emisi utama serta menilai dampak lingkungan yang ditimbulkan sepanjang tahapan proses produksi.
- c. Merumuskan upaya *improvement* untuk mengoptimalkan proses pembakaran dan menurunkan emisi cerobong berdasarkan hasil LCA, pengujian emisi, pemodelan AERMOD, dan observasi lapangan

- d. Menerapkan *improvement* dan menganalisis penurunan emisi terhadap peningkatan kinerja sistem cerobong dan penurunan emisi pada proses produksi yang menggunakan bahan bakar LPG di Perusahaan Sparepart Otomotif.

1.4. Manfaat Penelitian

Penelitian ini memberikan manfaat antara lain sebagai berikut :

- a. Secara teoritis penelitian ini bermanfaat dalam menambah khasanah pengetahuan di bidang Teknik Industri, maka kajian tidak dilakukan secara menyeluruh terhadap seluruh aspek operasional, melainkan difokuskan pada beberapa faktor kunci yang dianggap paling representatif dalam menggambarkan kinerja lingkungan industri. Dengan membatasi analisis pada faktor penelitian ini tetap mampu memberikan kontribusi ilmiah dalam mengidentifikasi hubungan antara emisi cerobong, konsumsi energi, dan dampak lingkungan. Pendekatan ini diharapkan dapat memperkaya khazanah keilmuan dalam bidang green manufacturing dan manajemen lingkungan industri, khususnya dalam pengembangan evaluasi kinerja lingkungan yang terintegrasi antara data lapangan dan pendekatan *Life Cycle Assessment* (LCA).
- b. Secara praktis penelitian ini bermanfaat dalam memberikan informasi dan rekomendasi bagi Perusahaan Sparepart Otomotif mengenai kinerja emisi cerobong serta langkah strategis yang dapat diterapkan untuk meningkatkan pengendalian pencemaran udara dan mendukung implementasi *green manufacturing* secara berkelanjutan.

1.5. Batasan Penelitian

Untuk memperoleh hasil penelitian yang lebih fokus dan terarah, pada penelitian ini dibuat batasan sebagai berikut:

- a. Penelitian ini hanya membahas evaluasi kinerja emisi cerobong terhitung mulai bulan Januari-Desember 2025 yang pelaksanaannya pada bulan ini Januari 2026 dan berada dalam lingkup kewenangan Departemen HRGA

di Perusahaan Sparepart Otomotif, kemudian akan dianalisis menggunakan metode *Life Cycle Assessment (LCA)*.

- b. Pembahasan penelitian difokuskan pada aspek dampak lingkungan dari emisi cerobong sebagai upaya penerapan green manufacturing sehingga tidak mencakup variabel lain seperti biaya operasional, analisis ekonomi, atau performa mesin secara detail.

1.6. Sistematika Penelitian

Pembahasan penelitian ini dilakukan secara terstruktur dan sistematis mulai dari pendahuluan hingga kesimpulan. Pada bab I (pendahuluan), diuraikan mengenai latar belakang, rumusan masalah, tujuan penelitian, manfaat penelitian, batasan penelitian dan sistematika penelitian. Pada bab II (tinjauan pustaka), berisi uraian penelitian terdahulu yang menjadi posisi penelitian, serta landasan teori yang digunakan dalam membahas penelitian tesis ini. Pada bab III (metodologi penelitian), berisi rancangan penelitian meliputi metode yang digunakan, tempat dan waktu penelitian, subjek dan objek penelitian, teknik pengumpulan data, teknik keabsahan data, teknik analisis data, serta diagram alir penelitian.

Bab IV dan V merupakan intisari dari penelitian. Pada bab IV (hasil dan pembahasan) berisi temuan dan hasil penelitian yang diperoleh di lapangan, data primer maupun sekunder, serta proses analisis dan pembahasan data yang dilakukan untuk mencapai hasil yang diinginkan. Pada bab V (penutup) berisi kesimpulan yang diperoleh dari hasil penelitian serta saran yang dapat peneliti berikan untuk subjek penelitian maupun untuk penelitian selanjutnya.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1. Kesimpulan

Berdasarkan penelitian yang sudah dilaksanakan maka dapat diambil Kesimpulan, sebagai berikut ;

1. Berdasarkan hasil identifikasi sumber emisi pada kegiatan produksi, diketahui bahwa proses *Heat Treatment* merupakan sumber emisi dari proses pembakaran (*combustion source*) yang menggunakan LPG sebagai bahan bakar. Sumber emisi tersebut berasal dari *Heat Treatment 1* sampai dengan *Heat Treatment 5* yang masing-masing terhubung dengan cerobong C-01, C-02, C-03, C-04, dan C-05. Hasil pengujian emisi terhadap parameter HCl, CO₂, NO₂, dan partikulat menunjukkan bahwa konsentrasi emisi dari sumber yang diuji masih memenuhi baku mutu emisi yang berlaku. Namun, hasil pengujian tersebut pada dasarnya hanya menggambarkan kondisi emisi pada titik sumber dan waktu pengambilan sampel tertentu, sehingga belum dapat menggambarkan pola penyebaran pencemar di lingkungan sekitar. Oleh karena itu, pemodelan AERMOD digunakan untuk melengkapi evaluasi dengan menggambarkan pola dispersi pencemar berdasarkan karakteristik sumber emisi dan kondisi meteorologi. Hasil pemodelan menunjukkan bahwa konsentrasi pencemar tertinggi berada pada area yang relatif dekat dengan sumber emisi dan selanjutnya menurun seiring bertambahnya jarak. Pola penyebaran mengikuti arah angin dominan, sedangkan konsentrasi maksimum hasil pemodelan masih berada di bawah baku mutu udara ambien yang digunakan sebagai acuan.
2. Berdasarkan hasil *Life Cycle Assessment*, penggunaan energi pada proses produksi, khususnya konsumsi LPG pada proses *Heat Treatment*, menjadi salah satu kontributor utama terhadap potensi dampak lingkungan. Kontribusi tersebut terutama terlihat pada kategori *Global Warming Potential* (GWP), serta kategori dampak lain yang dihasilkan berdasarkan metode *Life Cycle Impact Assessment* (LCIA) yang digunakan dalam

penelitian. Besarnya kontribusi LPG menunjukkan bahwa proses *Heat Treatment* merupakan salah satu *hotspot* yang perlu mendapatkan perhatian dalam peningkatan kinerja lingkungan. Hasil tersebut juga menunjukkan bahwa pemenuhan baku mutu emisi cerobong belum dapat digunakan sebagai satu-satunya indikator keberhasilan penerapan *green manufacturing*, karena hasil pengujian cerobong hanya menggambarkan kondisi emisi pada titik sumber, sedangkan LCA memberikan informasi mengenai kontribusi penggunaan energi dan material terhadap potensi dampak lingkungan secara lebih menyeluruh. Dengan demikian, integrasi LCA, pengujian emisi, dan AERMOD memberikan evaluasi yang lebih komprehensif terhadap kinerja lingkungan proses produksi.

3. Berdasarkan integrasi hasil LCA, pengujian emisi cerobong, pemodelan AERMOD, dan observasi kondisi aktual di lapangan, diperoleh bahwa *improvement* yang dapat diterapkan secara langsung adalah maintenance dan pembersihan *filter exhaust ducting* pada sistem pembuangan gas hasil pembakaran. Pemilihan *improvement* tersebut didasarkan pada ditemukannya penumpukan debu dan residu pada filter yang berpotensi menghambat aliran gas buang dan memengaruhi kinerja sistem pembuangan emisi. Meskipun hasil pengujian emisi masih memenuhi baku mutu, kondisi tersebut menunjukkan adanya peluang peningkatan kinerja yang bersifat preventif dan berkelanjutan. *Maintenance* filter berfungsi menjaga kelancaran aliran gas buang dan mempertahankan kinerja sistem pengendalian emisi. Sementara itu, hasil LCA yang menunjukkan LPG sebagai salah satu kontributor terbesar terhadap dampak lingkungan menjadi dasar untuk memberikan rekomendasi lanjutan berupa optimalisasi penggunaan energi pada proses *Heat Treatment*, seperti pengendalian konsumsi LPG, optimasi kondisi pembakaran, dan pemeliharaan *burner* serta *furnace*. Dengan demikian, *improvement* tidak hanya berorientasi pada pengendalian emisi (*end-of-pipe*), tetapi juga diarahkan pada pengurangan dampak dari sumbernya melalui peningkatan efisiensi energi.

4. Berdasarkan hasil analisis efektivitas perbaikan melalui kegiatan maintenance dan pembersihan filter exhaust ducting, diperoleh nilai penurunan emisi yang berbeda pada setiap cerobong. Cerobong C-01 menunjukkan efektivitas tertinggi sebesar 36,73% pada parameter partikulat, diikuti Cerobong C-05 sebesar 25,00%, Cerobong C-03 sebesar 22,22%, Cerobong C-04 sebesar 12,50%, Cerobong C-06 sebesar 9,76%, sedangkan Cerobong C-02 tidak menunjukkan perubahan konsentrasi emisi dengan nilai efektivitas 0%. Secara keseluruhan, rata-rata efektivitas perbaikan pada enam cerobong mencapai sekitar 17,70%. Hasil tersebut menunjukkan bahwa kegiatan maintenance filter exhaust ducting memberikan kontribusi positif terhadap peningkatan kinerja sistem pembuangan emisi, terutama dalam mengurangi hambatan aliran gas buang akibat penumpukan debu, kerak, dan residu pembakaran. Kondisi filter yang lebih bersih mendukung kelancaran aliran gas buang sehingga proses pembakaran menjadi lebih stabil dan emisi yang dihasilkan dapat berkurang.

5.2. Saran

1. Sebaiknya Perusahaan Sparepart Otomotif disarankan untuk menerapkan preventive maintenance secara konsisten pada sistem exhaust, khususnya filter exhaust ducting, burner, dan saluran gas buang. Perawatan secara berkala dapat mencegah penumpukan debu dan residu pembakaran sehingga aliran gas buang tetap optimal, efisiensi proses pembakaran meningkat, serta emisi yang dihasilkan dapat ditekan.
2. Sebaiknya Perusahaan Sparepart Otomotif dapat melakukan monitoring emisi cerobong dan evaluasi kinerja lingkungan secara berkala dengan memanfaatkan pendekatan Life Cycle Assessment (LCA), pengujian emisi, dan pemodelan dispersi AERMOD. Evaluasi secara berkelanjutan dapat menjadi dasar dalam mengidentifikasi sumber dampak lingkungan, memastikan kepatuhan terhadap baku mutu emisi, serta mendukung penerapan green manufacturing.

DAFTAR PUSTAKA

- Auburtin, P. N., Saadé, M., Manthey, M., Louërat, M., Martin, J. L., & Baverel, O. (2023). Influence of building geometry on the environmental impact of building structures. *Journal of Physics: Conference Series*, 2600(15). <https://doi.org/10.1088/1742-6596/2600/15/152001>
- Caronge, M. A., Wihardi Tjarong, M., & Irmawaty, R. (n.d.). ANALISIS TINGKAT EMISI PADA CEROBONG ASAP PABRIK SEMEN TONASA PANGKEP. *EMISSION ANALYSIS ON SMOKE STACK FACTORY TONASA CEMENT PANGKEP*.
- Çetinkaya, A. Y., Yılmaz, F., & Bilgili, L. (2024). Life cycle assessment and thermodynamic performance of biomass-based combined cogeneration. *Engineering Research Express*, 6(4). <https://doi.org/10.1088/2631-8695/ad9982>
- Duong, M. T. T., Duong, V. N., & Nga, T. T. V. (2024). Life cycle assesment on water treatment: Case study in Cau Do water treatment plant – Da Nang city - VietNam. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 1391(1). <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1391/1/012015>
- Hernández, S. C., & Díaz-Jiménez, L. (2021). Life cycle assesment of a biofertilizer production process from waste fats. *Dyna (Spain)*, 96(2), 154–158. <https://doi.org/10.6036/9874>
- Igos, E., Rugani, B., Rege, S., Benetto, E., Drouet, L., Zachary, D., Eni, F., & Mattei, E. (n.d.). *Fondazione Eni Enrico Mattei (FEEM) Combination of Equilibrium Models and Hybrid Life Cycle-Input-Output Analysis to Predict the Environmental Impacts of Energy Policy Scenarios*.
- Islam, M. S., & Moniruzzaman, S. M. (2019). Simulation of sustainable solid waste management system in Khulna city. *Sustainable Environment Research*, 1(1). <https://doi.org/10.1186/s42834-019-0013-8>
- Manurung, R., Tambun, R., Zuhri, R. R. S., Harahap, H., & Siregar, A. G. A. (2024). THE POTENTIAL OF CATALYST BASED ON PALM LEAVES IN BIODIESEL PRODUCTION AS PART OF PALM OIL LIFE CYCLE ASSESMENT. *EUREKA, Physics and Engineering*, 2024(4), 40–51.

<https://doi.org/10.21303/2461-4262.2024.003433>

[*permen LHK No. 5 tahun 2021. \(n.d.\).*](#)

[Pomponi, F., Anguita, M. L., Lange, M., D'Amico, B., & Hart, E. \(2021\). Enhancing the Practicality of Tools to Estimate the Whole Life Embodied Carbon of Building Structures via Machine Learning Models. *Frontiers in Built Environment*, 7. <https://doi.org/10.3389/fbuil.2021.745598>](#)

[Pratama, A., & Nurfadila, S. \(2022\). Implementasi Strategi Operasi Manufaktur Hijau Menuju Keberlanjutan Manufaktur. *Jurnal Ekonomia*, 12\(2\), 35–44. <https://doi.org/10.54342/itbis-e.v12i2.253>](#)

[Sistem manajemen lingkungan-Persyaratan dengan panduan penggunaan *Environmental management systems-Requirements with guidance for use.* \(2015\). \[www.bsn.go.id\]\(http://www.bsn.go.id\)](#)

[Sunaryanto, R., & Prasetyo, A. \(2017\). PENGARUH EMISI CEROBONG BOILER BATUBARA TERHADAP UDARA AMBIEN. *Jurnal TechLINK*, 1\(1\).](#)

[Tani Kentang di Perkebunan Kentang Dieng Wetan, K., Kejajar, K., Wonosobo FRANSISCA NINA RAHAYU, K., & Wahyu Supartono, I. \(n.d.\). *PENERAPAN LIFE CYCLE ASSESSMENT PADA PROSES PRODUKSI KENTANG \(Studi Kasus pada.* <http://etd.repository.ugm.ac.id/>](#)

[Vanesha Salsabilah, D., & Cundaningsih, N. \(2025\). *Analisis Kepatuhan Terhadap Regulasi Pada Pembuangan Emisi Industri Pupuk di PT. X. X\(3\).*](#)

STATE ISLAMIC UNIVERSITY
SUNAN KALIJAGA
YOGYAKARTA