

Nomor Urut: 005A/UN7.F3.6.8.TL/DL/IX/2025

006A/UN7.F3.6.8.TL/DL/IX/2025

Laporan Tugas Akhir

**PERENCANAAN STRATEGI REDUKSI EMISI
KONVENSIONAL DARI AKTIVITAS DI PELABUHAN
TANJUNG EMAS SEMARANG**



Disusun Oleh:

Almira Salsabila Andarisa

21080122120034

Ameilya Eka Silvia Anggraeni

21080122130081

**DEPARTEMEN TEKNIK LINGKUNGAN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS DIPONEGORO**

2026

HALAMAN PENGESAHAN

Skripsi ini diajukan oleh :

NAMA : Almira Salsabila Andarisa
 NIM : 21080122120034
 Jurusan/Departemen : Teknik Lingkungan Fakultas Teknik Undip
 Judul Skripsi : Perencanaan Strategi Reduksi Emisi Konvensional dari Aktivitas di Pelabuhan Tanjung Emas Semarang

Telah berhasil dipertahankan di hadapan Tim Penguji dan diterima sebagai bagian persyaratan yang diperlukan untuk memperoleh gelar Sarjana pada Departemen Teknik Lingkungan, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro.

Pembimbing I:

Dr. Ir. Haryono Setiyo Huboyo, S.T., M.T., IPU., ASEAN Eng.
 197402141999031002

Pembimbing II:

Ir. Titik Istirokhatun, S.T., M.Sc., Ph.D. IPU
 197803032010122001

Ketua Penguji:

Prof. Dr. Ir. Badrus Zaman, S.T., M.T., IPU., ASEAN Eng.
 197208302000031001

Anggota Penguji:

Ir. Wiharyanto Oktiawan, S.T., M.T., IPU
 197310242000031001

Semarang, 04 Februari 2026
 Program Studi Teknik Lingkungan
 Fakultas Teknik Undip
 Ketua

Prof. Dr. Ir. Badrus Zaman, S.T., M.T., IPU., ASEAN Eng.
 NIP. 197208302000031001



HALAMAN PENGESAHAN

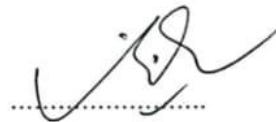
Skripsi ini diajukan oleh :

NAMA : Ameilya Eka Silvia Anggraeni
NIM : 21080122130081
Jurusan/Departemen : Teknik Lingkungan Fakultas Teknik Undip
Judul Skripsi : Perencanaan Strategi Reduksi Emisi Konvensional dari Aktivitas di Pelabuhan Tanjung Emas Semarang

Telah berhasil dipertahankan di hadapan Tim Penguji dan diterima sebagai bagian persyaratan yang diperlukan untuk memperoleh gelar Sarjana pada Departemen Teknik Lingkungan, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro.

Pembimbing I:

Ir. Titik Istirokhatun, S.T., M.Sc., Ph.D. IPU
197803032010122001



Pembimbing II:

Dr. Ir. Haryono Setiyo Huboyo, S.T., M.T., IPU., ASEAN Eng.
197402141999031002



Ketua Penguji:

Ir. Wiharyanto Oktiawan, S.T., M.T., IPU
197310242000031001



Anggota Penguji:

Prof. Dr. Ir. Badrus Zaman, S.T., M.T., IPU., ASEAN Eng.
197208302000031001



Semarang, 04 Februari 2026
Program Studi Teknik Lingkungan
Fakultas Teknik Undip
Ketua



Prof. Dr. Ir. Badrus Zaman, S.T., M.T., IPU., ASEAN Eng.
NIP. 197208302000031001

ABSTRAK

Pelabuhan Tanjung Emas Semarang mengalami peningkatan aktivitas bongkar muat, pergerakan kapal, kendaraan, dan alat berat yang berdampak pada peningkatan emisi udara konvensional berupa CO, NO_x, SO₂, dan PM₁₀. Penelitian ini bertujuan melakukan inventarisasi emisi subsektor transportasi darat dan laut, menganalisis dispersi polutan menggunakan model AERMOD, menghitung daya dukung dan daya tampung beban pencemaran udara, serta menyusun strategi reduksi emisi yang sesuai dengan kondisi pelabuhan. Inventarisasi emisi dilakukan menggunakan metode *tier 2* berbasis *Vehicle Kilometer Traveled* (VKT) untuk transportasi darat dan metode EPA C3 *Regulatory Impact Analysis* untuk transportasi laut. Hasil penelitian menunjukkan bahwa NO_x dan SO₂ didominasi oleh aktivitas kapal dan alat berat berbahan bakar diesel, sedangkan CO dan PM₁₀ terutama berasal dari kendaraan dan aktivitas bongkar muat di area darat pelabuhan. Pemodelan AERMOD menunjukkan konsentrasi tertinggi polutan berada di area dengan intensitas aktivitas tinggi dan cenderung meningkat pada tahun proyeksi. Perhitungan daya dukung dan daya tampung mengindikasikan keterbatasan kapasitas lingkungan terhadap beberapa parameter polutan. Berdasarkan analisis SWOT dan QSPM, strategi prioritas yang direkomendasikan meliputi pembangunan lahan parkir, penggunaan bahan bakar alternatif, serta pengadaan *tugboat* diesel listrik guna menurunkan beban emisi dan meningkatkan kualitas udara di Pelabuhan Tanjung Emas Semarang.

Kata Kunci: Inventarisasi Emisi, Transportasi Darat, Transportasi Laut, AERMOD, SWOT, QSPM, Pelabuhan Tanjung Emas

ABSTRACT

Tanjung Emas Port in Semarang has experienced an increase in cargo handling activities, vessel movements, vehicles, and cargo handling equipment, resulting in higher emissions of conventional air pollutants, namely CO, NO_x, SO₂, and PM₁₀. This study aims to conduct an emission inventory for land and marine transportation subsectors, analyze pollutant dispersion using the AERMOD model, assess the environmental carrying and loading capacity of air pollution, and formulate emission reduction strategies appropriate to port conditions. The emission inventory was carried out using the tier 2 method based on Vehicle Kilometer Traveled (VKT) for land transportation and the EPA C3 Regulatory Impact Analysis method for marine transportation. The results indicate that NO_x and SO₂ emissions are predominantly contributed by ship activities and diesel-powered cargo handling equipment, while CO and PM₁₀ emissions mainly originate from vehicles and cargo handling activities in the port land area. AERMOD modeling shows that the highest pollutant concentrations occur in areas with high activity intensity and tend to increase in future projection years. The carrying and loading capacity assessment indicates limited environmental capacity for several pollutant parameters. Based on SWOT and QSPM analyses, the prioritized emission reduction strategies include the development of parking facilities, utilization of alternative fuels, and acquisition of diesel electric tugboats to reduce emission loads and improve air quality at Tanjung Emas Port, Semarang.

Keywords: *Emission Inventory, Land Transportation, Marine Transportation, AERMOD, SWOT, QSPM, Tanjung Emas Port*

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Pencemaran udara adalah suatu kondisi dimana udara terkontaminasi oleh berbagai zat atau partikel yang dapat mengancam kesehatan manusia, hewan, dan alam sekitar. Parameter Indeks Standar Pencemar Udara (ISPU) untuk gas konvensional mencakup partikel PM_{10} dan $PM_{2,5}$, karbon monoksida (CO), nitrogen dioksida (NO_2), sulfur oksida (SO_x), ozon (O_3), serta nitrogen oksida (NO_x). Zat atau partikel ini bisa berasal dari beberapa sumber seperti emisi dari kendaraan, pabrik, pembakaran bahan bakar fosil, dan lain-lain. Pencemaran udara dapat menyebabkan masalah pernapasan, gangguan kesehatan, kerusakan lingkungan, serta perubahan iklim (Candrasari *et al.*, 2023). Berkaitan dengan hal tersebut, pemerintah Indonesia menetapkan Peraturan Pemerintah Nomor 22 Tahun 2021 mengenai Penyelenggaraan Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup, yang berisi standar kualitas udara sebagai dasar untuk mengendalikan polusi udara. Pengendalian pencemaran udara dilaksanakan sesuai dengan RPPMU, meliputi pencegahan, penanggulangan, dan pemulihan dampak pencemaran. Upaya pencegahan meliputi penerapan baku mutu emisi, salah satunya dengan pemantauan emisi secara rutin. Upaya penanggulangan meliputi kegiatan pemberian informasi kepada masyarakat terkait pencemaran udara dan pemberhentian sumber pencemaran udara sesuai dengan perkembangan IPTEK, seperti penggunaan teknologi yang ramah lingkungan dalam industri dan transportasi. Serta, upaya pemulihan dampak pencemaran meliputi kegiatan pembersihan pencemar di lingkungan seperti penegakan hukum terhadap pelanggaran yang terjadi.

Pelabuhan Tanjung Emas Semarang merupakan pelabuhan utama yang ada di Provinsi Jawa Tengah yang dikelola oleh PT Pelabuhan Indonesia (Persero) Tanjung Emas Semarang sejak tahun 1985. Pelabuhan ini memiliki peranan yang penting dalam mendukung perekonomian baik regional maupun nasional. Pelayanan yang ada di pelabuhan ini meliputi penyediaan berbagai kegiatan

bongkar muat barang dan penumpang, serta sebagai lokasi strategis untuk distribusi dan perdagangan (Gunawan *et al.*, 2024).

Seiring berkembangnya perdagangan laut di Indonesia PT Pelabuhan Indonesia (Persero) Tanjung Emas Semarang mengalami peningkatan aktivitas pelayaran dan bongkar muat. Menurut PT Pelindo Terminal Petikemas (2025), volume peti kemas internasional mengalami peningkatan sebesar 13%, sedangkan volume peti kemas domestik mengalami peningkatan sebesar 24% pada tahun 2024. Kemudian, menurut PT Pelindo Multi Terminal (2025), arus barang non petikemas mengalami peningkatan sebesar 9% pada awal tahun 2025. Kedua hal ini berdampak pada peningkatan penggunaan alat subsektor transportasi darat, seperti *trucking*, alat berat, dan kendaraan lainnya yang berpengaruh pada peningkatan emisi udara, di antaranya adalah CO, NO_x, SO₂, dan PM₁₀. Dapat disimpulkan bahwa peningkatan aktivitas di pelabuhan berbanding lurus dengan peningkatan emisi udara.

Selain itu, peningkatan aktivitas bongkar muat di pelabuhan juga berdampak pada penggunaan alat transportasi subsektor laut, seperti kapal. Bahkan ketika kapal berlabuh di pelabuhan, jumlah emisi yang dihasilkan diperkirakan lebih besar dibandingkan emisi yang dihasilkan oleh aktivitas pelabuhan itu sendiri (Martins *et al.*, 2022). Hal ini menyebabkan pencemaran udara yang berdampak negatif terhadap lingkungan. Berdasarkan Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 51 Tahun 2002 mengenai Perkapalan, pasal 111 menyebutkan bahwa kapal tidak boleh melebihi batas emisi gas buang yang telah ditetapkan. Sumber utama emisi dari kapal adalah mesin utama, mesin bantu, dan boiler. Terdapat berbagai jenis emisi dari aktivitas pelayaran yaitu CO, NO_x, CO₂, VOC, O₃, PM, dan SO_x. Emisi gas buang dari mesin diesel dapat menimbulkan masalah lingkungan seperti hujan asam, efek rumah kaca, serta berdampak negatif pada kesehatan manusia, terutama pada sistem pernapasan (Kumar *et al.*, 2019).

Dengan kondisi tersebut, diperlukan penyusunan strategi reduksi emisi untuk mencapai target standar kualitas udara yang diatur dalam Peraturan Pemerintah Nomor 22 Tahun 2021. Penelitian mengenai inventarisasi dan strategi reduksi emisi di Indonesia telah dilaksanakan di beberapa tempat. Salah satu

penelitian terdahulu yang meneliti emisi udara di Pelabuhan Tanjung Emas Semarang. Hasil dari penelitian tersebut memberikan gambaran penting mengenai keadaan kualitas udara di lingkungan pelabuhan serta sumber utama pencemaran dari aktivitas di pelabuhan, khususnya dari penggunaan kapal dan alat berat. Namun, penelitian tersebut masih memiliki keterbatasan, yakni tidak terdapat pemodelan dispersi emisi serta perhitungan daya dukung dan daya tampung lingkungan (Wijoyo & Danusilintar, 2023).

Sebagai pembaruan, penelitian ini akan menekankan emisi konvensional dari aktivitas pelabuhan dengan lingkup sumber emisi subsektor transportasi darat dan subsektor transportasi laut. Di mana sumber emisi subsektor transportasi darat meliputi emisi kendaraan dan alat berat yang beroperasi di pelabuhan. Sedangkan, sumber emisi subsektor transportasi laut meliputi emisi kapal pada saat *waiting time*, *approaching time*, dan *berthing time*. Parameter yang menjadi fokus utama penelitian ini adalah CO, NO_x, SO₂, dan PM₁₀. Polutan tersebut dipilih karena merupakan emisi konvensional terbanyak yang dihasilkan di Pelabuhan Tanjung Emas. Menurut Wijoyo & Danusilintar (2023), hasil inventarisasi emisi konvensional yaitu PM_{2.5} sebesar 384,00 ton; PM₁₀ sebesar 387,79 ton; CO sebesar 1.735,54 ton; HC sebesar 1.097,20 ton; NO_x sebesar 10.880,91 ton; serta SO₂ sebesar 3.075,51 ton. Polutan tersebut menjadi dominan karena merupakan hasil utama dari proses pembakaran bahan bakar fosil pada mesin kapal dan kendaraan yang beroperasi di pelabuhan. CO dihasilkan oleh hasil pembakaran bahan bakar oleh mesin kapal, alat berat, dan kendaraan. NO_x merupakan hasil pembakaran bahan bakar oleh mesin kapal saat *approaching time*, alat berat, dan kendaraan. SO₂ adalah hasil dari aktivitas bongkar muat dan kapal berbahan bakar *Heavy Fuel Oil* (HFO) karena kandungan sulfurnya yang tinggi. Serta, PM₁₀ yang berasal dari pembakaran mesin kapal, truk, peralatan bongkar muat, debu kargo curah, dan pergerakan kendaraan. Melalui inventarisasi emisi ini, beban emisi tahunan untuk setiap sektor dapat dihitung, kemudian pola persebaran polutan akan dianalisis menggunakan perangkat lunak AERMOD.

Dengan pendekatan ini, diharapkan penelitian dapat memberikan gambaran yang lebih akurat mengenai kondisi emisi di area pelabuhan dan sekaligus dapat

menyusun strategi pengurangan emisi yang lebih efektif untuk diterapkan. Oleh karena itu, Tugas Akhir (TA) ini berusaha untuk merancang strategi reduksi emisi udara khususnya parameter emisi CO, NO_x, SO₂, dan PM₁₀ dari aktivitas di Pelabuhan Tanjung Emas Semarang.

1.2 Identifikasi Masalah

Berdasarkan permasalahan yang melatar belakangi perencanaan ini, dapat diidentifikasi masalah sebagai berikut:

1. Peningkatan aktivitas di Pelabuhan Tanjung Emas Semarang menyebabkan peningkatan pencemaran udara yang dapat menurunkan kualitas lingkungan hidup.
2. Belum adanya inventarisasi emisi udara konvensional yang membedakan kontribusi dari berbagai aktivitas di Pelabuhan Tanjung Emas Semarang.
3. Diperlukan hasil pemodelan tentang dispersi emisi udara konvensional dari aktivitas di Pelabuhan Tanjung Emas Semarang menggunakan perangkat lunak AERMOD.
4. Belum adanya perhitungan mengenai daya dukung dan daya tampung beban emisi udara konvensional dari aktivitas di Pelabuhan Tanjung Emas Semarang.
5. Diperlukan adanya strategi yang efektif untuk mereduksi emisi konvensional dari aktivitas di Pelabuhan Tanjung Emas Semarang.

1.3 Rumusan Masalah

Rumusan masalah dalam tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana hasil inventarisasi emisi udara konvensional dari aktivitas di Pelabuhan Tanjung Emas Semarang?
2. Bagaimana hasil pemodelan dispersi emisi udara konvensional dari aktivitas pelabuhan menggunakan AERMOD di Pelabuhan Tanjung Emas Semarang?
3. Bagaimana hasil perhitungan daya dukung dan daya tampung beban emisi udara konvensional dari aktivitas di Pelabuhan Tanjung Emas Semarang?
4. Bagaimana strategi untuk mereduksi emisi udara konvensional dari aktivitas di Pelabuhan Tanjung Emas Semarang?

1.4 Rumusan Tujuan

Tujuan dalam tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

1. Menganalisis hasil inventarisasi emisi udara konvensional dari aktivitas di Pelabuhan Tanjung Emas Semarang.
2. Menganalisis hasil pemodelan dispersi emisi udara konvensional dari aktivitas di Pelabuhan Tanjung Emas Semarang.
3. Menghitung daya dukung dan daya tampung beban emisi udara konvensional dari aktivitas di Pelabuhan Tanjung Emas Semarang.
4. Menyusun strategi untuk mereduksi emisi udara konvensional dari aktivitas di Pelabuhan Tanjung Emas Semarang.

1.5 Pembatasan Masalah

Pembatasan masalah bertujuan agar poin bahasan dalam tugas akhir menjadi jelas. Pembatasan masalah yang akan dibahas sebagai berikut:

1. Ruang lingkup wilayah studi dalam tugas akhir ini dibatasi pada kegiatan bongkar muat petikemas dan non petikemas di Pelabuhan Tanjung Emas Semarang.
2. Sumber emisi yang akan diinventarisasi pada subsektor transportasi darat terdiri dari kendaraan dan alat berat yang beraktivitas di Pelabuhan Tanjung Emas Semarang.
3. Sumber emisi yang akan diinventarisasi pada subsektor transportasi laut adalah kapal yang beroperasi di terminal petikemas dan non petikemas. Cakupan analisis hanya meliputi emisi yang dihasilkan selama tahapan operasi kapal, yaitu *waiting time*, *approaching time*, dan *berthing time* tanpa memasukkan emisi dari aktivitas pelayaran di luar area pelabuhan.
4. Parameter polutan udara konvensional yang dianalisis adalah CO, NO_x, SO₂, dan PM₁₀.

1.6 Rumusan Manfaat

Manfaat yang diperoleh dari tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

- A. Bagi Pemerintah Kota Semarang

1. Membantu pemerintah daerah dalam upaya inventarisasi emisi udara konvensional subsektor transportasi darat dan transportasi laut khususnya di Pelabuhan Tanjung Emas Semarang.
2. Menjadi masukan serta pertimbangan pemerintah daerah dalam menetapkan kebijakan terkait reduksi emisi udara konvensional subsektor transportasi darat dan transportasi laut di Pelabuhan Tanjung Emas Semarang.

B. Bagi Perusahaan

1. Membantu menginventarisasikan *output* emisi yang dihasilkan oleh aktivitas di Pelabuhan Tanjung Emas Semarang.
2. Menjadi masukan serta pertimbangan strategi pengurangan emisi konvensional di Pelabuhan Tanjung Emas Semarang.

C. Bagi Masyarakat

1. Memberi wawasan serta informasi terkait kondisi kualitas udara Pelabuhan Tanjung Emas Semarang kepada masyarakat.
2. Memberi wawasan dan informasi terkait upaya reduksi emisi udara konvensional kepada masyarakat.

D. Bagi Peneliti

1. Memberi masukan terkait inventarisasi emisi udara konvensional di subsektor transportasi darat dan transportasi laut beserta pemodelan daya dukung dan daya tampung menggunakan AERMOD di tahun-tahun selanjutnya.
2. Memberi masukan serta pertimbangan dalam perencanaan reduksi emisi udara perkotaan di tahun-tahun selanjutnya.

DAFTAR PUSTAKA

- Belo, A. T. (2025). Analisis Kinerja Operasional Pelayanan Kapal dan Barang di Pelabuhan Malundung Tarakan. *Jurnal Sistem Transportasi & Logistik*, 4(3), 175-188.
- Buanawati, T. T., Huboyo, H. S., & Samadikun, B. P. (2017). *Estimasi Emisi Pencemar Udara Konvensional (SO_x, NO_x, CO, dan PM) Kendaraan Pribadi Berdasarkan Metode International Vehicle Emission (IVE) di Beberapa Ruas Jalan Kota Semarang* (Doctoral dissertation, Diponegoro University).
- Budiwati, T. (2009). Analisis Hujan Asam dan CO₂ Atmosfer. In *Prosiding Seminar Nasional Penelitian, Pendidikan dan Penerapan Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Negeri Yogyakarta* (Vol. 16).
- Candrasari, S., Clarissa, E. C., Kusumawardani, F., Pattymahu, G. C. H., Eugenia, J. F., Cahyadi, L. B., & Syabanera, N. D. (2023). Pemulihan Dampak Pencemaran Udara Bagi Kesehatan Masyarakat Indonesia. *Professional: Jurnal Komunikasi dan Administrasi Publik*, 10(2), 849-854.
- Cimorelli, A. J., Perry, S. G., Venkatram, A., Weil, J. C., Paine, R. J., Wilson, R. B., Lee, R. F., Peters, W. D., & Brode, R. W. (2005). AERMOD: A Dispersion Model for Industrial Source Applications. Part I: General Model Formulation and Boundary Layer Characterization. *Journal of Applied Meteorology*, 44(5), 682-693. <https://doi.org/10.1175/JAM2227.1>
- Daud, M., Budihardjo, M. A., & Isnanto, R. R. (2021). Evaluasi Risiko Kesehatan dan Keselamatan Kerja dengan Metode HIRARC Pada Proyek Pembangunan Sistem Penyediaan Air Baku Bendungan Pengga Kabupaten Lombok Tengah. *Jurnal Pendidikan Profesi Insinyur Indonesia (JPPI)*, 1(1), 104-111.
- Direktorat Jenderal Bina Marga. (1997). *Manual Kapasitas Jalan Indonesia (MKJI)*. Departemen Pekerjaan Umum.

- Fadillah, M. (2023). *Studi Kandungan Asam Pada Air Hujan di Kota Pontianak* (Doctoral dissertation, Universitas Tanjungpura).
- Geertsma, R.D., Negenborn, R.R., Visser, K., Hopman, J.J. (2017). Design and Control of Hybrid Power and Propulsion Systems for Smart Ships: A Review of Developments. *Appl. Energy* 194, 30-54. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2017.02.060>
- Gunawan, H., Ruslinda, Y., Bachtiar, V. S., & Dwinta, A. (2018). Model Hubungan Konsentrasi Particulate Matter 10 μm (PM₁₀) di Udara Ambien dengan Karakteristik Lalu Lintas di Jaringan Jalan Primer Kota Padang. *Prosiding Seminar Nasional Sains dan Teknologi (SEMNASTEK)*, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Jakarta.
- Gunawan, A. D., Rusmiyanto, D., & Wa'adulloh, M. Z. (2024). Analisis Kinerja Pelayanan Kapal di Pelabuhan Tanjung Emas Semarang. *Jurnal Sains Bangunan*, 1(1), 21-31.
- Gusnita, N., & Said, K. S. (2017). Analisa Efisiensi dan Pemanfaatan Gas Buang Turbin Gas Alsthom pada Pembangkit Listrik Tenaga Gas Kapasitas 20 MW. *Jurnal Sains dan Teknologi Industri*, 14(2), 209-218.
- Huboyo, H. S., & Sustrisno, H. (2009). *Analisis Konsentrasi Particulate Matter 10 (PM₁₀) pada Udara di Luar Ruang*. 30(1), 44-48.
- Huboyo, H. S., Andarani, P., & Hadiwidodo, M. (2018). Inventarisasi dan Sebaran Emisi Aktivitas Pelabuhan dengan AERMOD View. *Jurnal Presipitasi: Media Komunikasi dan Pengembangan Teknik Lingkungan*, 15(1), 31-35.
- International Maritime Organization. (2020). *Cutting Sulphur Oxide Emissions*.
- International Maritime Organization. (2021). *Ship Energy Efficiency Regulations and Related Guidelines*.
- Iqbal, M. (2025). *Analisa Catalytic Converter Terhadap Emisi Gas Buang dengan Logam Katalis Tembaga (Cu) Berbentuk Tabung Pada Sepeda Motor 125 cc* (Doctoral dissertation, Fakultas Teknik, Universitas Islam Sumatera Utara).
- Jannah, M. R., El Unas, S., & Hasyim, M. H. (2017). *Analisis Risiko Keselamatan dan Kesehatan Kerja (K3) Melalui Pendekatan Hazard Identification, Risk*

- Assessment, and Determining Control (HIRADC) dan Metode Job Safety Analysis Pada Studi Kasus Proyek Pembangunan Menara X di Jakarta.* Jurnal teknik sipil, Fakultas Teknik, Universitas Brawijaya.
- Jayaram, V., Khan, M. Y., Miller, J. W., Welch, W. A., Johnson, K., & Cocker, D. R. (2010). Evaluating Emission Benefits of a Hybrid Tug Boat (Final Report). California Air Resources Board; University of California, Riverside.
- Kementerian Lingkungan Hidup. (2010). *Peraturan Menteri Lingkungan Hidup Nomor 12 Tahun 2010 tentang Pelaksanaan Pengendalian Pencemaran Udara*. Jakarta: KLH.
- Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan. (2013). *Pedoman Teknis Penyusunan Inventarisasi Emisi Pencemar Udara di Perkotaan*. Jakarta: KLHK.
- Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan. (2021). *Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan Republik Indonesia Nomor 11 Tahun 2021 tentang Baku Mutu Emisi Mesin Dengan Pembakaran Dalam*. Jakarta: KLHK.
- Kumar, J., Kumpulainen, L., & Kauhaniemi, K. (2019). Technical Design Aspects of Harbour Area Grid for Shore to Ship Power: State of The Art and Future Solutions. *International Journal of Electrical Power & Energy Systems*, 840-852.
- Kusuma, S., Priyono, B., & Prawirosastro, C. (2025). Dinamika Kinerja Reach Stacker pada Container Yard Terminal Petikemas Surabaya Tahun 2024. *Jurnal Marine Inside*, 7(2), 232-240.
- Langner, C., & Klemm, O. (2011). A Comparison of Model Performance between AERMOD and AUSTAL2000. *Journal of the Air and Waste Management Association*, 61(6), 640-646. <https://doi.org/10.3155/1047-3289.61.6.640>
- Lestari, A. N. (2023). Sistem Diagnostik Vehicle Control Unit (VCU) Pada Bus Listrik Einobus Berbasis *Internet of Things* (IoT) di PT. INKA Persero Madiun. <https://repository.its.ac.id/100628/>

- Lewerissa, Y. J. (2017). Analisis Penurunan Emisi CO₂, NO_x, SO_x Mesin Bahan Bakar LNG (Df) Terhadap Mesin Bahan Bakar Diesel (HFO). *Jurnal Voering*, 2(1), 62-68.
- Martins, M. D. A. P., Huboyo, S., & Budi, P. (2022). Emisi Polutan Konvensional dari Aktivitas di Alur Pelayaran Pelabuhan Dili. *Jurnal Serambi Engineering*, 7(3).
- Masvika, H., Adi, A. D., & Faris, F. (2018). Evaluasi Penurunan Konsolidasi Tanah di Semarang Utara Berdasarkan Korelasi N-SPT Dengan mv. *Rekayasa Sipil*, 7(1), 1-12.
- Maula, G. M. (2024). Efektivitas Implementasi Kebijakan Pengendalian Pencemaran Udara di Indonesia. *Savana: Indonesian Journal of Natural Resources and Environmental Law*, 1(02), 145-159.
- Miller, W., Johnson, K. C., Peng, W., & Yang, J. J. (2020). Local Air Benefits by Switching from Diesel Fuel to LNG on a Marine Vessel. *Final Report. Bourns College of Engineering-Center for Environmental Research and Technology University of California Riverside*.
- Muhammad, A. (2022). *Studi Perbandingan Efisiensi dan Efektivitas Pembongkaran Muatan Soya Bean Meal Menggunakan Dua Alat Berat Excavator di Pelabuhan Krakatau Bandar Samudra Cilegon* (Doctoral dissertation, Politeknik Ilmu Pelayaran Semarang).
- Nasution, N. A. S., Pratama, A. Y., & Nuryadi, N. (2018). Produktivitas Bongkar Curah Kering Pangan Gandum Di Dermaga 005c Pada Pt Pelabuhan Indonesia Ii. *Jurnal Manajemen Bisnis Transportasi dan Logistik*, 4(2), 153-170.
- Noor, C. M., Noor, M. M., & Mamat, R. (2018). Biodiesel as Alternative Fuel for Marine Diesel Engine Applications: A Review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 94, 127-142.
- Novirsa, R., & Achmadi, U. F. (2012). Analisis Risiko Paparan PM_{2.5} di Udara Ambien Siang Hari Terhadap Masyarakat di Kawasan Industri Semen. *Kesmas*, 7(4), 173-179.

- Nugraha, H. J. (2023). *Analisis Daya Dukung Camping Ground Hutan Pendidikan Universitas Hasanuddin = Analysis of The Camping Capacity of The Educational Forest Ground of Hasanuddin University* (Doctoral dissertation, Universitas Hasanuddin).
- Parwata, I. G. J., Kusuma, C., & Indaryanto, M. (2022). Analisa Ekonomi Pemanfaatan Gas LNG Sebagai Bahan Bakar Penggerak Kapal Ferry. *Journal of Industrial Engineering & Management Research*, 3(5), 119-126.
- Pelindo Multi Terminal. (2025). Arus Barang Nonpetikemas Pelabuhan Tanjung Emas Naik 9 Persen, Produktivitas Curah Kering Tumbuh. <https://www.pelindomultiterminal.co.id/news/arus-barang-nonpetikemas-pelabuhan-tanjung-emas-naik-9-persen-produktivitas-curah-kering-tumbuh>
- Pelindo Terminal Petikemas. (2025). Pelindo Terminal Petikemas Tambah Kapasitas TPK Semarang. <https://www.pelindotpk.co.id/pelindo-terminal-petikemas-tambah-kapasitas-tpk-semarang>
- Prayogo, E. (2013). 5 Hierarki Pengendalian Resiko [PDF]. Scribd. <https://www.scribd.com/document/336429206/5-Hierarki-Pengendalian-Resiko>
- Purnama, H., & Dirgantara, A. (2025). Estimasi Beban Emisi Gas Buang Akibat Aktivitas Kapal Penyeberangan dan Bongkar Muat Kendaraan Bermotor Pada Pelabuhan Kolaka. *Borneo Engineering: Jurnal Teknik Sipil*, 9(1), 14-26.
- Qolifah, L. N., Wahyuningsih, N. E., & Darundiati, Y. H. (2023). Karakteristik Risiko Kesehatan Non Karsinogenik Akibat Paparan Gas SO₂ dan NO₂ pada Pemulung di TPA Jatibarang Kota Semarang. *Jurnal Kesehatan Lingkungan Indonesia*, 23(1), 50-58.
- Rahmah, M. (2021). Turn Round Time Dalam Kinerja Pelabuhan. <https://koneksea.com/turn-round-time/>
- Ramadhan, R. R., Dahri, M., Pribadi, T., & Beno, J. (2025). Analisis Pengaruh Penggunaan Excavator dan Wheel Loader Terhadap Produktivitas

- Bongkar Muat Curah Kering di Terminal PT. Berlian Manyar Sejahtera Kawasan Jiipe Gresik. *Jurnal Maritim Malahayati*, 6(1), 280-283.
- Rangkuti, F. (2015). *Analisis SWOT: Teknik Membedah Kasus Bisnis*. Jakarta: PT Gramedia Pustaka Utama.
- Republik Indonesia. (1999). *Undang-Undang Republik Indonesia Nomor 41 Tahun 1999 tentang Pengendalian Pencemaran Udara*. Jakarta: Sekretariat Negara.
- Republik Indonesia. (2008). *Undang-Undang Republik Indonesia Nomor 17 Tahun 2008 tentang Pelayaran*. Jakarta: Sekretariat Negara.
- Republik Indonesia. (2009). *Peraturan Pemerintah Nomor 61 Tahun 2009 tentang Kepelabuhanan*. Jakarta: Sekretariat Negara.
- Republik Indonesia. (2010). *Peraturan Pemerintah Nomor 12 Tahun 2010 tentang Pengendalian Pencemaran Udara di Daerah*. Jakarta: Sekretariat Negara.
- Republik Indonesia. (2021). *Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 22 Tahun 2021 tentang Penyelenggaraan Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup*. Jakarta: Sekretariat Negara.
- Safitri, F. A., Erwanto, D., & Yuliana, D. E. (2025). Analisis Pengaruh Jumlah Load Cell Timbangan Jembatan Elektronik pada Pengujian Eksentrisitas sesuai Rekomendasi OIML R76. *Jurnal Teori dan Aplikasi Fisika*, 13(01).
- Santoso, T. P. (2013). *Analisis Strategi Pemasaran Produk Kerajinan Sepatu Pada UKM Galaksi Desa Ciapus*. Bogor.
- Shofi'i, I., Taqiyuddin, T., & Kasrani, M. W. (2024). Aliran Daya dan Kebutuhan Energi Listrik Pelabuhan Kontainer: Kajian Perencanaan Elektrifikasi dan Profitabilitas di PT. Kaltim Kariangau Terminal. *Jurnal Teknik Elektro Uniba (JTE UNIBA)*, 9(1), 511-517.
- Shen, Z., Wang, J., Zhang, Y., Zheng, L., Mi, C., & Shen, Y. (2024). Identification and Positioning Method of Bulk Cargo Terminal Unloading Hopper Based on Monocular Vision Three-Dimensional Measurement. *Journal of Marine Science and Engineering*, 12(8), 1282.
- Sinan K. & Yasin U. (2011). *Marine Steam Turbines*. Turkey: INT-NAM.

- Sofyan, H., Maulana, M. F., & Sofyan, H. (2022). Analisis Bahaya dan Risiko K3 dengan Metode HIRARC Pada Area Dieshop di PT XYZ Plant 2. *SISTEMIK: Jurnal Ilmiah Nasional Bidang Ilmu Teknik*, 10(1), 21-26.
- Standards Australia, & Standards New Zealand. (2004). *HB 436:2004—Handbook: Risk Management Guidelines: Companion to AS/NZS 4360:2004*. Standards Australia International.
- U.S. Environmental Protection Agency. (2009). *Current Methodologies in Preparing Mobile Source Port-Related Emission Inventories*.
- U.S. Environmental Protection Agency. (2016). *National Port Strategy Assessment: Reducing Air Pollution and Greenhouse Gases at U.S. Ports* (EPA-420-R-16-011).
- U.S. Environmental Protection Agency. (2017). *Integrated Science Assessment (ISA) for Oxides of Nitrogen, Oxides of Sulfur, and Particulate Matter—Ecological Criteria* (EPA/600/R-16/372).
- Umar, A. & Hamka, A. H. A. (2022). Optimalisasi Pemeliharaan Harbour Mobile Crane dan Hopper dalam Peningkatan Pelayanan Kegiatan Bongkar Muat di PT Pelindo IV (Persero) Cabang Makassar. *Jurnal Ilmiah Kemaritiman*, 8-13.
- Walukow, M. I., & Pangemanan, S. A. (2015). Developing Competitive Strategic Model Using Quantitative Strategic Planning Matrix (QSPM) Approach for Handicrafts Ceramic Industry in Pulutan, Minahasa Regency. *Procedia–Social and Behavioral Sciences*, 211, 688–695. <https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2015.11.104>
- Wang, Y., Wright, L., & Zhang, P. (2021). Economic feasibility of LNG fuel for trans ocean-going ships: A case study of container ships. *Maritime Technology and Research*, 3(2), 202-222.
- Wijayanti, R. N. (2010). Analisis Pengaruh Kepadatan Lalu Lintas Terhadap Konsentrasi PM₁₀. Teknik Lingkungan. Universitas Diponegoro. Semarang.

- Wijoyo, C. A., & Danusilintar, V. (2023). *Perencanaan Strategi Reduksi Emisi Gas Rumah Kaca (GRK) dan Konvensional di Area Pelabuhan Studi Kasus Kota Semarang*. Semarang: Universitas Diponegoro.
- World Ports Sustainability Program. (2020). *Zero-Emission Port Operations Guidelines*.
- Yunita, R. D., & Kiswandono, A. A. (2017). Kajian Indeks Standar Pencemar Udara (ISPU) Sulfur Dioksida (SO₂) Sebagai Polutan Udara pada Tiga Lokasi di Kota Bandar Lampung. *Analit: Analytical and Environmental Chemistry*, 2(1).
- Zadditaqwa, K. (2023). Rancang Bangun Prototype Sistem Optimalisasi Suhu dan Kelembaban Pada Battery Box Kendaraan Bus Listrik Menggunakan Arduino Mega dan Berbasis IoT.
- Zeng, X-W., Qian, Z., Vaughn, M. G., Nelson, E. J., Dharmage, S. C., Bowatte, G., Perret, J., Chen, D-H., Ma, H., Lin, S., de Foy, B., Hu, L-W., Yang, B-Y., Xu, S-L., Zhang, C., Tian, Y-P., Nian, M., Wang, J., Xiao, X., Bao, W-W., Zhang, Y-Z., & Dong, G-H. (2017). Positive Association between Short-Term Ambient Air Pollution Exposure and Children Bloodpressure in China—Result from The Seven Northeast Cities (SNEC) study, *Environmental Pollution*. 224:698-705.
- Zhu, J., Chen, L., Wang, B., Xia, L., 2018. Optimal Design of a Hybrid Electric Propulsive System for an Anchor Handling Tug Supply Vessel. *Appl. Energy* 226, 423-436. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2018.05.131>
- Zulfikar, H., Saputra, D. R., Maulana, A., & Cahyono, Y. A. (2023). Implementasi Perkembangan Pelabuhan Hijau di Dunia pada Pelabuhan Indonesia. *Jurnal Ilmiah Wahana Pendidikan*, 9(9), 533-544.