Jurnal Universal Technic
Volume 5 Nomor 2 Bulan Oktober 2026
e-ISSN : 2962-6897; p-ISSN : 2962-6900, Hal. 168-176
DOI: https://doi.org/10.58192/unitech.v5i2.4689
Available online at: https://journal.unimar-amni.ac.id/index.php/UNITECH

Analisis Penurunan Kinerja Burner Incinerator terhadap Efektivitas Pengolahan Sludge Oil dan Pencegahan Pencemaran Laut di MV Geopark Venus

Narendra Bagaskara[1], Ely Sulistiyowati[2], Riyadini Utari[3*]

[1,2,3]Politeknik Ilmu Pelayaran Semarang, Indonesia
Alamat: Jl. Singosari Raya No.2A, Wonodri
***Email korespondensi:** riyadini.utari@pip-semarang.ac.id*

Abstract. *This study examines the decline in incinerator burner performance on MV Geopark Venus as an effort to prevent marine pollution from ship-generated waste. The research used a descriptive qualitative method through direct observation in the engine room, interviews with the Chief Engineer and First Engineer, documentation, and manual book review during sea practice from August 2024 to August 2025. Data were analyzed using a fishbone diagram with the 4M approach, namely Machine, Material, Method, and Man Power. The findings show that burner performance decline was caused by dirty or clogged nozzles, dirty sludge inlet strainer, residue accumulation on the baffle plate and furnace, poor sludge quality, improper flushing practice, and low crew discipline in planned maintenance. These conditions triggered repeated flame failure, unstable combustion, excessive smoke, waste accumulation on board, and potential violation of marine pollution prevention rules. The study implies that periodic cleaning, diesel oil flushing after sludge burning, stricter Planned Maintenance System supervision, and crew refreshment training are essential to maintain incinerator reliability.*

Keywords: *burner; incinerator; machine maintenance; marine pollution; sludge oil.*

Abstrak. Penelitian ini menganalisis penurunan performa burner incinerator di MV Geopark Venus sebagai upaya mencegah pencemaran laut akibat limbah kapal. Kebaruan penelitian ini terletak pada integrasi analisis kegagalan teknis burner dengan evaluasi risiko pencemaran laut akibat gangguan pengelolaan sludge oil di atas kapal. Penelitian menggunakan metode kualitatif deskriptif melalui observasi langsung di kamar mesin, wawancara dengan Chief Engineer dan First Engineer, dokumentasi, serta telaah manual book selama praktik laut pada Agustus 2024 sampai Agustus 2025. Data dianalisis memakai diagram fishbone dengan pendekatan 4M, yaitu Machine, Material, Method, dan Man Power. Hasil penelitian menunjukkan bahwa penurunan performa burner disebabkan oleh nozzle kotor atau tersumbat, strainer inlet sludge kotor, penumpukan residu pada baffle plate dan furnace, kualitas sludge yang buruk, proses flushing yang tidak optimal, serta rendahnya disiplin kru dalam menjalankan Planned Maintenance System. Kondisi tersebut memicu flame failure berulang, pembakaran tidak stabil, asap berlebih, penumpukan limbah di kapal, dan potensi pelanggaran aturan pencegahan pencemaran laut. Implikasi penelitian menegaskan pentingnya pembersihan berkala, flushing menggunakan diesel oil setelah pembakaran sludge, pengawasan PMS, dan penyegaran kompetensi kru mesin.

Kata kunci: burner, incinerator, pencemaran laut, perawatan mesin, sludge oil.

Received: Juni 10, 2026; Revised: Juni 23, 2026; Accepted: September 29, 2026;
Online Available: Oktober 15, 2026; Published: Oktober 20, 2026;

1. LATAR BELAKANG

Pengelolaan limbah di kapal menjadi bagian penting dalam perlindungan lingkungan laut. Kapal menghasilkan limbah padat dan limbah cair selama operasi, seperti sampah operasional, sludge oil, residu pembakaran, dan air buangan. Jika limbah tersebut tidak dikelola dengan tepat, dampaknya dapat menjangkau ekosistem laut, kegiatan perikanan, kesehatan manusia, dan ekonomi masyarakat pesisir.

Incinerator berfungsi sebagai pesawat bantu untuk membakar limbah padat dan limbah cair di kapal. Pada MV Geopark Venus, inci nerator digunakan untuk mengurangi volume limbah, khususnya sludge oil dari sistem pemisahan minyak dan air. Proses pembakaran yang baik membutuhkan bahan bakar, oksigen, panas, atomisasi yang merata, dan kondisi komponen burner yang bersih. Pada kondisi normal, ruang bakar incinerator bekerja pada suhu 850 °C sampai 1050 °C, sedangkan waste oil tank perlu dipanaskan pada suhu 90 °C sampai 110 °C agar viskositas sludge sesuai untuk proses penyemprotan.

Masalah muncul ketika burner incinerator tidak bekerja secara optimal. Penurunan performa burner dapat menyebabkan flame failure, pembakaran tidak sempurna, asap berlebih, residu meningkat, dan limbah menumpuk di atas kapal. Kondisi ini berpotensi mengganggu kepatuhan kapal terhadap ketentuan pencegahan pencemaran laut, terutama regulasi yang mengatur pembuangan sampah dan limbah dari kapal.

Kajian sebelumnya menunjukkan bahwa operasi incinerator dapat mendukung pengelolaan limbah kapal apabila alat dirancang, dioperasikan, dan dirawat sesuai standar teknis (Shaikh, 2020). Penelitian lain menekankan bahwa incinerator kapal tetap memiliki risiko operasional dan keselamatan kerja, sehingga perlu pengawasan prosedur, pelatihan, serta perawatan komponen secara konsisten (Kuncowati et al., 2024). Chandra et al. (2021) juga menempatkan incinerator sebagai salah satu solusi pengelolaan marine debris, tetapi efektivitasnya bergantung pada pemilahan limbah, pengawasan suhu, dan prosedur pembakaran.

Meskipun berbagai penelitian telah membahas perawatan incinerator kapal, masih terbatas penelitian yang mengkaji hubungan langsung antara penurunan kinerja burner dengan efektivitas pengelolaan sludge oil serta implikasinya terhadap kepatuhan MARPOL pada kapal niaga. Kebaruan penelitian ini terletak pada analisis yang menghubungkan faktor teknis burner dengan risiko pencemaran laut pada konteks operasional MV Geopark Venus. Penelitian tidak hanya menjelaskan kerusakan komponen, tetapi juga menelusuri akar masalah melalui pendekatan 4M dan merumuskan tindakan pencegahan yang langsung terkait dengan praktik kerja kru mesin. Tujuan penelitian ini adalah mengidentifikasi faktor penyebab penurunan performa burner incinerator, menganalisis dampaknya terhadap potensi pencemaran laut, dan menyusun upaya penanggulangan yang sesuai dengan kondisi kapal.

2. KAJIAN TEORITIS

Incinerator dan sistem pembakaran kapal

Incinerator kapal merupakan alat pembakaran yang dipasang di atas kapal untuk memusnahkan limbah padat dan limbah cair pada temperatur tinggi. Limbah yang dibakar dapat berupa sludge oil, majun, kertas, dan sampah operasional lain yang diizinkan. Hasil akhir pembakaran berupa abu dan gas buang. Abu perlu dikelola sesuai jenis dan kandungan bahaya residunya, sedangkan gas buang harus berasal dari pembakaran yang stabil dan cukup sempurna.

Sistem pembakaran incinerator bekerja melalui reaksi antara bahan bakar, udara, dan sumber panas. Pembakaran primer berlangsung di ruang bakar utama, sedangkan pembakaran sekunder membantu mengoksidasi gas sisa agar emisi lebih terkendali. Kinerja pembakaran ditentukan oleh kualitas bahan bakar, suhu ruang bakar, suplai udara, waktu tinggal gas panas, dan kondisi komponen burner.

Burner, nozzle, strainer, baffle plate, dan furnace

Burner merupakan komponen utama yang menghasilkan nyala api dan menyemprotkan bahan bakar ke ruang bakar. Nozzle berfungsi mengubah bahan bakar menjadi kabut halus agar mudah bercampur dengan udara. Strainer menyaring kotoran sebelum bahan bakar masuk ke burner dan nozzle. Baffle plate mengatur arah aliran gas panas agar distribusi panas lebih merata. Furnace menjadi ruang tempat proses pembakaran limbah berlangsung. Jika salah satu komponen ini kotor atau tidak bekerja sesuai fungsi, proses atomisasi dan pembakaran akan menurun.

Regulasi pencegahan pencemaran laut

MARPOL Annex V mengatur pencegahan pencemaran laut oleh sampah dari kapal. Plastik, minyak, kertas, logam, kaca, dan banyak limbah operasional kapal dilarang dibuang ke laut. Sampah makanan hanya dapat dibuang dengan ketentuan jarak tertentu dan perlakuan tertentu. Dalam konteks ini, incinerator membantu mengurangi volume limbah di atas kapal. Namun, incinerator tidak dapat menggantikan kewajiban kapal untuk mematuhi prosedur pembuangan residu dan dokumentasi pengelolaan limbah.

Analisis fishbone 4M

Fishbone analysis membantu mengurai hubungan sebab dan akibat secara sistematis. Pendekatan 4M membagi penyebab masalah ke dalam Machine, Material, Method, dan Man Power. Pada penelitian ini, Machine mencakup kondisi nozzle, strainer, baffle plate, furnace, burner fan, dan sistem kontrol. Material mencakup kualitas sludge oil, kadar air, viskositas, serta kotoran padat. Method mencakup prosedur pemanasan, flushing, pembersihan, dan PMS. Man Power mencakup disiplin kru, pengalaman, pengawasan, dan pemahaman terhadap manual book.

Tabel 1. Data Pengaturan Suhu Operasi Incinerator MV Geopark Venus

No	Parameter	Nilai operasi
1	Suhu operasi normal incinerator	850 °C sampai 1050 °C
2	Suhu operasi pembakaran sludge tidak normal	<500 °C
3	Suhu operasi normal waste oil tank	90 °C sampai 110 °C
4	Suhu operasi tidak normal waste oil tank	<80 °C

Sumber: Data penelitian, 2025.

3. METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan metode kualitatif deskriptif. Metode ini dipilih karena penelitian berfokus pada pemahaman penyebab penurunan performa burner incinerator berdasarkan kondisi lapangan, pengalaman kru mesin, dokumen kapal, dan hasil pengamatan langsung. Peneliti bertindak sebagai instrumen utama yang mengumpulkan, menyeleksi, menafsirkan, dan menyimpulkan data.

Penelitian dilakukan di MV Geopark Venus selama praktik laut pada 4 Agustus 2024 sampai 25 Agustus 2025. Kapal ini merupakan bulk carrier berbendera Panama yang dioperasikan dengan kru mesin dan dek dari Indonesia. Fokus pengamatan berada pada ruang mesin, khususnya sistem incinerator BGW-20N dan burner yang digunakan untuk pembakaran sludge oil serta limbah padat.

Sumber data primer berasal dari observasi langsung dan wawancara dengan Chief Engineer serta First Engineer. Observasi mencakup kondisi nyala api, indikator suhu, tekanan bahan bakar, kondisi sludge, strainer, nozzle, baffle plate, furnace, dan alarm flame failure. Wawancara menggali riwayat gangguan, penanganan yang telah dilakukan, prosedur operasional, dan jadwal perawatan. Data sekunder berasal dari manual book, Planned Maintenance System, dokumen kapal, foto pekerjaan, dan literatur yang relevan.

Analisis data dilakukan dengan diagram fishbone berbasis 4M. Tahap analisis meliputi reduksi data, pengelompokan faktor penyebab, penentuan hubungan sebab akibat, penarikan temuan utama, dan penyusunan rekomendasi. Keabsahan data dijaga melalui triangulasi teknik dan sumber, yaitu membandingkan hasil observasi, wawancara, dokumentasi, dan manual book.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Konteks objek penelitian

MV Geopark Venus adalah kapal bulk carrier empat palka yang dibuat pada tahun 2013. Kapal ini membawa muatan curah seperti semen, batu bara, limestone, dan bahan mentah lain. Sistem incinerator pada kapal berperan dalam membakar sludge oil dan limbah padat agar volume limbah berkurang dan risiko pencemaran laut dapat ditekan.

Tabel 2. Spesifikasi Umum Incinerator MV Geopark Venus

Parameter	Spesifikasi
Tipe incinerator	BGW-20N
Max capacity waste oil	24,3 l/h
Max capacity solid waste	20 kg/h
Electric source	AC 440V
Waste oil burner	Air atomizing burner
Aux burner/pilot burner	Pressure atomizing burner (diesel oil)
Ignition system	High-voltage spark
Flame detector	CdS cell
Burner fan	Turbo fan
Waste oil pump	Trochoid gear type
Oil pump for aux. burner	Solenoid type

Sumber: Manual Book MV Geopark Venus, 2025.

Temuan lapangan

Gangguan utama ditemukan pada pelayaran dari Jepang menuju Vietnam pada Januari 2025. Pada awalnya incinerator berada dalam kondisi normal dan akan digunakan untuk pembakaran sludge. Saat pengoperasian awal, sistem menunjukkan flame failure secara berulang. Kondisi tersebut menghambat pembakaran limbah dan menyebabkan penumpukan sludge serta sampah padat di atas kapal.

Pengecekan oleh First Engineer dan Chief Engineer menemukan beberapa kondisi kritis. Strainer inlet sludge berada dalam kondisi kotor, nozzle tersumbat, baffle plate masih menyimpan kotoran dari pembakaran sebelumnya, dan ruang bakar memiliki penumpukan abu serta residu. Temuan ini menunjukkan bahwa masalah bukan berasal dari satu komponen tunggal, tetapi dari interaksi antara kondisi mesin, kualitas sludge, prosedur pembersihan, dan disiplin perawatan.

Faktor penyebab penurunan performa burner

Hasil analisis fishbone menunjukkan bahwa faktor Machine menjadi penyebab langsung yang paling mudah diamati. Nozzle kotor menghambat aliran bahan bakar dan membuat atomisasi tidak halus. Strainer tersumbat menurunkan tekanan dan debit bahan bakar. Baffle plate yang tertutup jelaga mengganggu arah aliran gas panas. Furnace yang penuh residu menurunkan ruang efektif pembakaran dan membuat suhu sulit mencapai nilai normal.

Faktor Material muncul pada kualitas sludge oil. Sludge yang mengandung air tinggi atau terlalu kental tidak mudah teratomisasi. Jika waste oil tank tidak dipanaskan sampai suhu kerja yang sesuai, viskositas sludge tetap tinggi. Kondisi ini memperberat kerja pompa dan meningkatkan risiko penyumbatan pada saluran bahan bakar.

Faktor Method berkaitan dengan prosedur pengoperasian dan perawatan. Proses flushing memakai diesel oil setelah pembakaran sludge harus dilakukan untuk membersihkan sisa minyak kotor dari jalur burner. Jika flushing diabaikan, sludge yang tersisa dapat mengental ketika sistem dingin. Pada pengoperasian berikutnya, saluran bahan bakar menjadi tersumbat dan proses penyalaan terganggu.

Faktor Man Power berkaitan dengan disiplin, pengalaman, dan pengawasan kru mesin. Wawancara menunjukkan bahwa perawatan komponen kritikal seperti nozzle dan strainer sering dilakukan setelah gangguan muncul, bukan sebagai tindakan preventif. Hal ini memperlihatkan perlunya penguatan Planned Maintenance System, tool-box meeting, dan pengawasan langsung oleh perwira mesin.

Tabel 3. Sintesis Analisis Fishbone 4M

Kategori	Temuan utama	Dampak teknis	Implikasi
Machine	Nozzle tersumbat, strainer kotor, baffle plate tertutup jelaga, furnace penuh residu	Atomisasi buruk, tekanan bahan bakar turun, distribusi panas tidak merata, flame failure	Performa burner turun dan pembakaran tidak sempurna
Material	Sludge mengandung air tinggi, viskositas terlalu kental, kotoran padat terbawa aliran	Sludge sulit disemprotkan dan mudah menyumbat saluran	Pembakaran lambat, asap meningkat, residu bertambah
Method	Flushing tidak konsisten, pembersihan tidak sesuai jadwal, pemanasan waste oil tank tidak optimal	Sisa sludge mengental, sistem bahan bakar tersumbat, suhu kerja tidak tercapai	Gangguan berulang dan perawatan menjadi reaktif
Man Power	Disiplin PMS rendah, pemahaman manual book belum merata, pengawasan belum konsisten	Komponen kritikal terlambat dibersihkan dan prosedur akhir operasi diabaikan	Risiko kerusakan, penumpukan limbah, dan pelanggaran regulasi meningkat

Sumber: Hasil olah data penelitian, 2025.

Dampak terhadap potensi pencemaran laut

Penurunan performa burner berdampak langsung pada efektivitas pengelolaan limbah kapal. Ketika incinerator gagal membakar sludge oil dan sampah padat, limbah akan menumpuk di sludge tank, waste oil tank, dan tempat penampungan sampah. Penumpukan ini meningkatkan risiko keterbatasan kapasitas penyimpanan, terutama saat kapal menempuh pelayaran panjang atau belum dapat melakukan pembuangan residu di pelabuhan.

Risiko berikutnya adalah meningkatnya potensi pembuangan sludge oil secara tidak terkendali. Sludge oil merupakan limbah minyak yang tidak boleh dibuang ke laut. Jika sistem pembakaran tidak dapat menjalankan fungsinya, tekanan operasional terhadap ruang penyimpanan limbah meningkat. Kondisi ini harus dicegah karena dapat menimbulkan pelanggaran regulasi dan merusak lingkungan laut.

Pembakaran tidak sempurna juga menghasilkan asap berlebih dan residu yang lebih banyak. Abu yang mengandung sisa karbon dan bahan berbahaya tidak boleh dibuang sembarangan. Apabila abu atau residu tercampur dengan lingkungan laut, kualitas air dapat terganggu. Minyak, sludge, dan residu pembakaran yang masuk ke laut dapat menutup permukaan air, menurunkan kadar oksigen terlarut, merusak habitat biota, dan mengganggu rantai makanan.

Upaya penanggulangan dan pencegahan

Upaya pertama adalah pembersihan nozzle secara berkala. Nozzle perlu dilepas sesuai prosedur, direndam dalam chemical untuk melunakkan kerak, dibersihkan dengan kawat kecil secara hati-hati, disemprot udara bertekanan, lalu dipasang kembali. Pemeriksaan orifice penting untuk memastikan lubang nozzle tidak rusak dan pola semprotan tetap baik.

Upaya kedua adalah pembersihan strainer. Strainer harus dibersihkan dari sludge, kerak, dan kotoran padat menggunakan diesel oil, sikat kecil, dan udara bertekanan. Pemeriksaan kondisi saringan perlu dilakukan untuk memastikan tidak ada sobekan atau kerusakan yang memungkinkan kotoran lolos ke nozzle.

Upaya ketiga adalah pembersihan baffle plate dan furnace. Baffle plate perlu dibersihkan dari jelaga, abu, dan kerak agar arah aliran gas panas kembali sesuai desain. Furnace perlu dibersihkan setelah sistem dingin dan aman, sehingga sisa abu dan residu tidak mengganggu ruang efektif pembakaran. Tindakan ini membantu mempertahankan suhu ruang bakar dan mengurangi risiko flame failure.

Upaya keempat adalah penerapan flushing menggunakan diesel oil setelah proses pembakaran sludge. Flushing membersihkan sisa sludge dari saluran bahan bakar dan mencegah pengentalan saat sistem dingin. Upaya kelima adalah penguatan disiplin kru melalui tool-box meeting, pengawasan Chief Engineer dan First Engineer, serta pencatatan PMS yang lebih tertib.

Tabel 4. Rekomendasi Tindakan Perbaikan dan Pencegahan

Masalah	Tindakan perbaikan	Tindakan pencegahan
Nozzle kotor atau tersumbat	Rendam dengan chemical, bersihkan orifice, semprot udara bertekanan	Pembersihan berkala sesuai PMS dan pemeriksaan pola semprotan
Strainer inlet sludge kotor	Bersihkan dengan diesel oil, sikat, dan udara bertekanan	Pengecekan sebelum operasi dan penggantian jika saringan rusak
Baffle plate tertutup jelaga	Lepas burner, bersihkan kerak dengan sikat kawat atau scraper	Pembersihan setelah operasi dan inspeksi sebelum pembakaran berikutnya
Furnace penuh residu	Keluarkan abu dan kerak setelah sistem dingin	Jadwal pembersihan rutin dan pemeriksaan suhu ruang bakar
Flushing tidak dilakukan	Sirkulasikan diesel oil setelah pembakaran sludge	Masukkan flushing sebagai checklist wajib akhir operasi
Disiplin PMS rendah	Briefing dan pengawasan langsung perwira mesin	Tool-box meeting, evaluasi catatan PMS, dan pelatihan singkat

Sumber: Hasil olah data penelitian, 2025.

5. KESIMPULAN DAN SARAN

Penelitian ini menunjukkan bahwa penurunan performa burner incinerator di MV Geopark Venus disebabkan oleh kombinasi faktor teknis dan operasional. Faktor teknis meliputi nozzle yang tersumbat karbon, strainer inlet sludge yang kotor, baffle plate yang tertutup sisa pembakaran, serta penumpukan residu pada furnace. Faktor operasional meliputi kualitas sludge yang tidak sesuai, pemanasan waste oil tank yang kurang optimal, flushing yang tidak konsisten, dan disiplin kru mesin yang belum sepenuhnya mengikuti PMS.

Dampak utama penurunan performa burner adalah pembakaran tidak sempurna, flame failure berulang, asap berlebih, residu meningkat, dan penumpukan limbah di atas kapal. Kondisi tersebut dapat meningkatkan risiko pencemaran laut apabila sludge oil, abu, atau limbah operasional tidak dikelola sesuai ketentuan. Upaya yang perlu dilakukan mencakup pembersihan nozzle, strainer, baffle plate, dan furnace secara berkala, penerapan flushing diesel oil setelah pembakaran sludge, pengawasan PMS, serta peningkatan pemahaman kru mesin melalui briefing dan pelatihan singkat.

Penelitian ini terbatas pada satu objek kapal dan satu tipe incinerator, sehingga hasilnya perlu digunakan secara hati-hati untuk kapal lain dengan desain dan kondisi operasi yang berbeda. Penelitian berikutnya dapat membandingkan beberapa kapal, memasukkan data kuantitatif emisi dan temperatur pembakaran, serta menguji efektivitas jadwal perawatan berbasis kondisi agar rekomendasi teknis menjadi lebih terukur.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis menyampaikan terima kasih kepada Politeknik Ilmu Pelayaran Semarang, PT Jasindo Duta Segara, serta seluruh kru MV Geopark Venus yang telah mendukung pelaksanaan praktik laut, pengumpulan data, observasi, wawancara, dan dokumentasi penelitian ini.

DAFTAR REFERENSI

Ardiansyah, Risnita, & Jailani, M. S. (2023). Teknik pengumpulan data dan instrumen penelitian ilmiah pendidikan pada pendekatan kualitatif. Jurnal IHSAN: Jurnal Pendidikan Islam, 1(2), 1-9.

Arif Rachman, Yochanan, Samanlangi, A. I., & Purnomo, H. (2024). Metode penelitian kuantitatif, kualitatif dan R&D. CV Saba Jaya Publisher.

Basri, S., & Syaputra, M. (2024). Sharing session: Penulisan karya ilmiah systematic literature review sebagai alternatif dalam pengambilan data primer bagi mahasiswa. Jurnal Kolaboratif Sains, 7(1), 485-490. https://doi.org/10.56338/jks.v7i1.4907

Chandra, H., Rahmania, R., Kusumaningrum, P. D., Sianturi, D. S. A., Firdaus, Y., Sufyan, A., Hatori, C. A., Akhwady, R., Indriasari, V. Y., Triwibowo, H., & Marzuki, M. I. (2021). Developing the debris incinerator vessel as a new solution for managing marine debris in small island of Indonesia. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 925(1). https://doi.org/10.1088/1755-1315/925/1/012016

Dr. Drs. H. Rifa'i Abubakar, M. A. (2021). Pengantar metodologi penelitian.

Fathurrahim, F., & Adhyaksa, A. (2024). Implementasi perlindungan lingkungan maritim atas pencemaran limbah kapal di Pelabuhan Rakyat Kota Ternate. Jatiswara, 39(2), 229-243. https://doi.org/10.29303/jtsw.v39i2.711

Hadi, S. (2016). Pemeriksaan keabsahan data kualitatif pada skripsi. Jurnal Ilmu Pendidikan, 10(1), 74-79.

Hendri Rukmana. (2025). Pentingnya perawatan mesin untuk menunjang daya tahan mesin induk di kapal MT Patra Tanker 1. Frontiers in Veterinary Science, 13(1), 1-16.

International Maritime Organization. (2017). MARPOL Annex V: Regulations for the prevention of pollution by garbage from ships. London: IMO.

Kementerian PPN/Bappenas. (2023). Laporan kajian analisis kelembagaan, perencanaan, dan opsi pendanaan serta pembiayaan pengelolaan sampah.

Kuncowati, Daryanto, Prasita, V. D., & Muammar. (2024). Maritime safety in waste management: Analyzing risk of occupational accidents during waste incineration on vessels. LOGI - Scientific Journal on Transport and Logistics, 15(1), 109-120. https://doi.org/10.2478/logi-2024-0010

Kurniawan Saputra. (2021). Analisis penerapan peraturan penanganan sampah yang terjadi di atas kapal MV. CMA CGM Jakarta.

Manual Book MV Geopark Venus. (2025). Incinerator BGW-20N operating and maintenance manual.

Muhammad Jusdarmiyanto. (2021). Analisis kegagalan burner pada incinerator di kapal MT. Mauhau.

Muhammad Nizar Arvila Putra, Zahrani, N. A., Az Zahra, T., Bella, B. C., Hariyadi, A. G., Fadhila, D. S., Abiyyu, S. A. A., Firdausi, R. R. K., Justicio, M. N., Albar, A. K., & Firmansyah, P. (2024). Sampah plastik sebagai ancaman terhadap lingkungan. Aktivisme: Jurnal Ilmu Pendidikan, Politik dan Sosial Indonesia, 2(1), 154-165. https://doi.org/10.62383/aktivisme.v2i1.725

Munandar, A. (2020). Metode penelitian kuantitatif dan kualitatif.

Peng, G., Xu, B., & Li, D. (2022). Gray water from ships: A significant sea-based source of microplastics?

Pramiyati, T., Jayanta, J., & Yulnelly, Y. (2017). Peran data primer pada pembentukan skema. Jurnal SIMETRIS, 8(2), 679-686.

Qomaruddin, & Sa'diyah, H. (2024). Kajian teoritis tentang teknik analisis data dalam penelitian kualitatif: Perspektif Spradley, Miles dan Huberman.

Rahardjo, A., Hakim, M. E., & Wahab, A. (2017). Analisa sistem pembakaran pada mesin diesel lokomotif CC 201. Jurnal Teknik Mesin Universitas Islam Malang, 3(02), 44-47.

Shaikh, M. Z. (2020). Incinerator for ship scraping waste.

Syahputri, A. Z., Fallenia, F. D., & Syafitri, R. (2023). Kerangka berfikir. Tarbiyah: Jurnal Ilmu Pendidikan dan Pengajaran, 2(1), 160-166.

United Nations Department of Economic and Social Affairs. (2025). The Sustainable Development Goals Report. United Nations. https://unstats.un.org/sdgs/report/2025/The-Sustainable-Development-Goals-Report-2025.pdf

WWF. (2022). Impacts of plastic pollution in the oceans on marine species. https://doi.org/10.5281/zenodo.5898684