

Pengaruh Pemasangan Onshore Power Supply (OPS) Terhadap Penurunan Biaya Bahan Bakar Dan Emisi CO₂ Pada Kapal Pengangkut Batu Bara

Maharsi Aditya Pamungkas, Eri Prabowo

Fakultas Ketenagalistrikan dan Energi Terbarukan, Institut Teknologi PLN

*Corresponding Author e-mail: nyaifulalii7689@gmail.com

Received: December 2025; Revised: January 2026; Published: February 2026

Abstrak

Peningkatan aktivitas transportasi laut berkontribusi terhadap meningkatnya konsumsi energi berbahan bakar fosil dan emisi gas rumah kaca, khususnya pada fase kapal bersandar di pelabuhan. Salah satu upaya mitigasi yang dikembangkan adalah penerapan Onshore Power Connection, yaitu sistem pasokan listrik dari darat ke kapal untuk menggantikan penggunaan auxiliary engine selama proses bongkar. Penelitian ini bertujuan menganalisis kelayakan investasi penerapan Onshore Power Connection serta dampaknya terhadap biaya operasional dan emisi karbon dioksida pada kapal KM Adhiguna Tarahan yang bersandar di Pelabuhan Suralaya. Metode penelitian yang digunakan adalah pendekatan kuantitatif dengan analisis komparatif sebelum dan sesudah penerapan Onshore Power Connection, serta studi kasus berbasis data operasional nyata kapal. Data yang dianalisis meliputi investasi sistem, arus kas tahunan, biaya operasional bongkar, serta perhitungan emisi CO₂ berdasarkan konsumsi energi. Hasil penelitian menunjukkan bahwa investasi penerapan Onshore Power Connection layak secara ekonomi, ditunjukkan oleh nilai Net Present Value yang positif, Internal Rate of Return yang lebih besar dari tingkat diskonto, serta Payback Period yang relatif singkat. Dari sisi operasional, penggunaan listrik darat selama proses bongkar mampu menurunkan biaya operasional secara signifikan dibandingkan penggunaan auxiliary engine berbahan bakar minyak. Selain itu, penerapan Onshore Power Connection terbukti menurunkan emisi CO₂ secara konsisten pada setiap kegiatan bongkar kapal. Temuan ini menunjukkan bahwa Onshore Power Connection tidak hanya memberikan manfaat ekonomi, tetapi juga berkontribusi terhadap pengurangan emisi gas rumah kaca pada sektor transportasi laut di kawasan pelabuhan.

Kata kunci: Onshore Power Connection; Biaya Operasional; Emisi CO₂; Kapal Bongkar; Transportasi Laut

The Impact of Onshore Power Supply (OPS) Installation on the Reduction of Fuel Costs and CO₂ Emissions in Coal Carrier Vessels (Case Study of KM Adhiguna Tarahan at PLTU Suralaya)

Abstract

The increase in maritime transportation activities has contributed to higher fossil fuel energy consumption and greenhouse gas emissions, particularly during the berthing phase of vessels at ports. One mitigation effort that has been developed is the implementation of Onshore Power Connection, a shore-based electricity supply system that replaces the use of auxiliary engines during unloading operations. This study aims to analyze the investment feasibility of Onshore Power Connection implementation and its impact on operational costs and carbon dioxide emissions of the KM Adhiguna Tarahan vessel while berthing at Suralaya Port. The research method employed a quantitative approach using comparative analysis before and after the implementation of Onshore Power Connection, combined with a case study based on actual operational data of the vessel. The analyzed data include system investment costs, annual cash flow, unloading operational costs, and CO₂ emission calculations based on energy consumption. The results indicate that the investment in Onshore Power Connection is economically feasible, as shown by a positive Net Present Value, an Internal Rate of Return higher than the discount rate, and a relatively short Payback Period. From an operational perspective, the use of shore-based electricity during unloading significantly reduces operational costs compared to the use of fossil fuel-based auxiliary engines. Furthermore, the implementation of Onshore Power Connection consistently reduces CO₂ emissions during each unloading operation. These findings indicate that Onshore Power Connection not only provides economic benefits but also contributes to the reduction of greenhouse gas emissions in the maritime transportation sector within port areas.

Keywords: Onshore Power Connection; Operational Costs; CO₂ Emissions; Coal Carrier Vessel; Maritime Transportation

How to Cite: Pamungkas, M. A. . (n.d.). Pengaruh Pemasangan Onshore Power Supply (OPS) Terhadap Penurunan Biaya Bahan Bakar Dan Emisi CO₂ Pada Kapal Pengangkut Batu Bara. *Journal of Authentic Research*, 383-396. <https://doi.org/10.36312/xmg25r94>



<https://doi.org/10.36312/xmg25r94>

Copyright© 2026, Pamungkas.

This is an open-access article under the CC-BY-SA License.



PENDAHULUAN

Program Net Zero Emission (NZE) merupakan inisiatif global yang dirancang untuk mengurangi dampak pencemaran lingkungan yang memicu pemanasan global. Program ini lahir dari Paris Agreement yang diselenggarakan pada tahun 2015 dan disepakati oleh lebih dari 195 negara sebagai komitmen bersama dalam mitigasi, adaptasi, serta pendanaan terkait perubahan iklim. Net Zero Emissions atau nol emisi karbon didefinisikan sebagai kondisi ketika jumlah emisi karbon yang dilepaskan ke atmosfer tidak melebihi kapasitas penyerapan alami bumi (Abd et al., 2021). Untuk mencapai kondisi tersebut, diperlukan transisi sistem energi dari sumber berbasis fosil menuju sistem energi bersih yang mampu menjaga keseimbangan antara aktivitas manusia dan keberlanjutan lingkungan (Kåberger, 2018; Lazkano et al., 2017; Rehman et al., 2019).

Di tengah kondisi ekonomi global yang cenderung stagnan, arus kargo dunia justru terus mengalami peningkatan yang signifikan. Globalisasi serta intensifikasi perdagangan internasional mendorong pertumbuhan jumlah kapal, khususnya kapal curah kering (bulk carrier vessel). Peningkatan aktivitas pelayaran ini berdampak langsung pada kualitas lingkungan, terutama di kawasan pelabuhan saat kapal bersandar. Emisi gas buang, pencemaran udara dan air, serta kebisingan dan getaran dari aktivitas kapal menimbulkan risiko terhadap kesehatan manusia, flora, fauna, dan ekosistem di sekitarnya (Abbass et al., 2022; Tol, 2018). Kondisi tersebut menjadikan pelabuhan sebagai salah satu titik konsentrasi pencemaran yang perlu mendapat perhatian serius dalam upaya penurunan emisi gas rumah kaca (Muhali et al., 2025a, 2025b).

Salah satu pendekatan yang dikembangkan untuk menekan dampak lingkungan dari aktivitas kapal di pelabuhan adalah penerapan sistem pasokan listrik dari darat ke kapal atau Onshore Power Supply (OPS). Selama berlayar, kapal umumnya memanfaatkan auxiliary engine untuk menghasilkan listrik guna memenuhi kebutuhan operasional. Namun, saat kapal bersandar, kebutuhan listrik untuk penerangan, pendingin ruangan, sistem pompa, serta peralatan bongkar muat tetap harus dipenuhi. Dengan penerapan OPS, kapal dapat menghentikan pengoperasian auxiliary engine dan beralih menggunakan pasokan listrik dari jaringan darat yang berpotensi berasal dari sumber energi yang lebih ramah lingkungan. Teknologi ini dinilai efektif dalam menurunkan emisi gas rumah kaca serta polutan udara lainnya seperti NO_2 , SO_2 , dan partikulat, sekaligus mengurangi tingkat kebisingan di area pelabuhan.

KM Adhiguna Tarahan merupakan kapal pembongkaran mandiri (self unloader vessel) buatan tahun 1984 yang dalam proses pembongkarannya menggunakan sistem belt conveyor dengan kebutuhan daya listrik yang cukup besar. Pada kondisi eksisting, kebutuhan listrik tersebut sepenuhnya dipenuhi oleh auxiliary engine berbahan bakar fosil. Faktor usia kapal yang relatif tua menyebabkan kinerja auxiliary engine tidak optimal sehingga sering menimbulkan gangguan operasional selama proses pembongkaran dan pasokan batu bara. Kapal ini secara rutin bersandar di

Pelabuhan Suralaya dan selama berada di dermaga masih mengandalkan auxiliary engine sebagai sumber energi utama, yang menghasilkan emisi karbon dioksida (CO₂) dalam jumlah signifikan dan berdampak langsung terhadap kualitas lingkungan sekitar pelabuhan (Sesana et al., 2021).

Sektor transportasi, termasuk transportasi laut, merupakan salah satu kontributor utama emisi gas rumah kaca. Transportasi maritim berperan penting dalam mendukung pergerakan barang global dan mewakili sebagian besar perdagangan dunia, namun pada saat yang sama menghasilkan emisi yang tidak dapat diabaikan. Emisi kapal saat berlabuh di pelabuhan bahkan dilaporkan dapat mencapai beberapa kali lipat dibandingkan emisi operasional pelabuhan itu sendiri. Kondisi ini mendorong organisasi internasional seperti International Maritime Organization (IMO) untuk menetapkan target pengurangan intensitas karbon melalui strategi jangka panjang yang menekankan efisiensi energi dan optimalisasi operasional kapal, termasuk pada fase sandar di pelabuhan.

Pada saat kapal bersandar, mesin utama dihentikan, tetapi kebutuhan listrik untuk hoteling operations tetap berlangsung secara kontinu. Selama ini, kebutuhan tersebut dipenuhi oleh auxiliary engine yang mengonsumsi bahan bakar minyak dan menghasilkan emisi CO₂, CH₄, dan N₂O (Lazkano et al., 2017; Rehman et al., 2019). Pembakaran bahan bakar fosil tersebut tidak hanya berkontribusi terhadap perubahan iklim global, tetapi juga menurunkan kualitas udara lokal di kawasan pelabuhan. Dalam konteks ini, penerapan teknologi OPS atau shore power menjadi alternatif yang relevan untuk menggantikan sumber energi konvensional selama kapal berada di dermaga (Abbass et al., 2022; Rehman et al., 2019).

Onshore Power Connection, yang juga dikenal sebagai shore power atau cold ironing, memungkinkan kapal memperoleh pasokan listrik langsung dari jaringan listrik pelabuhan melalui sistem kelistrikan yang terstandarisasi. Implementasi teknologi ini telah terbukti mampu menurunkan emisi CO₂ secara signifikan pada fase sandar, sekaligus mengurangi emisi polutan udara lainnya. Penerapan OPS secara internasional diatur melalui standar IEC/ISO/IEEE 80005 yang mengatur aspek teknis seperti sinkronisasi tegangan dan frekuensi, sistem pengamanan, serta keselamatan operasional. Meskipun demikian, penerapan OPS masih menghadapi tantangan teknis dan investasi, terutama terkait kompatibilitas sistem antara kapal dan infrastruktur pelabuhan.

Berdasarkan kondisi tersebut, penerapan OPS pada KM Adhiguna Tarahan menjadi relevan untuk dikaji secara komprehensif, tidak hanya dari sisi teknis dan lingkungan, tetapi juga dari aspek ekonomi operasional. Penelitian ini memanfaatkan data implementasi nyata Onshore Power Connection untuk menganalisis penurunan emisi CO₂ dan perubahan biaya operasional selama proses pembongkaran kapal. Pendekatan berbasis kasus nyata ini memberikan kontribusi empiris yang berbeda dibandingkan penelitian sebelumnya yang umumnya berfokus pada simulasi, studi kelayakan ekonomi, atau kajian kebijakan semata.

METODE

Penelitian ini dilakukan pada kapal KM Adhiguna Tarahan yang bersandar di lingkungan PT PLN Indonesia Power Unit Bisnis Pembangkitan Suralaya (PLTU). Lokasi penelitian dipilih karena kapal tersebut secara rutin melakukan kegiatan pembongkaran batu bara dan telah menerapkan sistem Onshore Connection sebagai sumber pasokan energi listrik selama kapal sandar. Penelitian dilaksanakan dengan memanfaatkan data operasional kapal dan pelabuhan yang diperoleh selama periode pengamatan, sehingga hasil penelitian mencerminkan kondisi operasional nyata di lapangan.

Desain penelitian disusun melalui tahapan observasi lapangan, identifikasi masalah, studi literatur, penentuan metode penelitian, pengumpulan data, pengolahan data, analisis data, serta interpretasi hasil. Observasi lapangan dilakukan untuk mengamati proses bongkar kapal, penggunaan auxiliary engine, konsumsi bahan bakar minyak, serta kondisi lingkungan sekitar pelabuhan. Berdasarkan hasil observasi tersebut, diidentifikasi permasalahan utama berupa tingginya biaya bahan bakar saat proses bongkar, besarnya emisi CO₂ yang dihasilkan, serta perlunya evaluasi terhadap sistem Onshore Power Supply yang telah diterapkan.

Metode penelitian yang digunakan adalah pendekatan kuantitatif dengan analisis komparatif antara kondisi sebelum dan sesudah penerapan Onshore Connection, serta studi kasus pada KM Adhiguna Tarahan. Pengumpulan data dilakukan melalui dokumentasi teknis dan observasi tidak langsung, dengan sumber data meliputi data investasi dan dokumen kelayakan, lama waktu bongkar kapal, biaya operasional sebelum dan sesudah penerapan Onshore Connection pada saat bongkar, serta data emisi CO₂ sebelum dan sesudah penerapan Onshore Connection. Data tersebut kemudian diolah untuk menghitung kelayakan investasi dan perubahan biaya operasional serta emisi.

Pengolahan dan analisis data dilakukan menggunakan analisis kuantitatif deskriptif. Perhitungan meliputi Net Present Value (NPV), Internal Rate of Return (IRR), dan Payback Period (PP) dari investasi Onshore Connection, perhitungan selisih dan penghematan biaya operasional, serta konversi konsumsi energi menjadi emisi CO₂ sebelum dan sesudah penerapan Onshore Connection. Tahap akhir penelitian adalah interpretasi hasil dengan membandingkan hasil pengolahan data dan analisis dengan teori yang relevan, untuk memastikan kesesuaian antara hasil empiris dan kerangka teoritis yang digunakan.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Kelayakan Investasi dan Biaya Operasional Penerapan Onshore Power Connection

Tabel 1. Investasi Onshore Connection

No	Investasi Onshore Connection	Nilai (Rp)
1	Pengadaan dan Pemasangan Kabel	1.412.982.920
2	Jual Beli Tenaga Listrik	1.246.510.000
3	Pengadaan Frequency Converter	17.621.478.872
4	Pengadaan dan Pemasangan Panel	741.721.000
	Asumsi Diskon Rate	12%
	Total	21.022.692.792

Investasi penerapan Onshore Power Connection pada kapal KM Adhiguna Tarahan terdiri atas beberapa komponen utama, yaitu pengadaan dan pemasangan kabel, jual beli tenaga listrik, pengadaan frequency converter, serta pengadaan dan pemasangan panel. Total nilai investasi yang dikeluarkan untuk penerapan sistem ini sebesar Rp21.022.692.792 dengan asumsi discount rate sebesar 12%. Investasi tersebut direncanakan untuk mendukung pengalihan sumber energi listrik kapal selama proses bongkar dari auxiliary engine berbahan bakar fosil ke pasokan listrik darat.

Tabel 2. Annual Cash Flow

No	Tahun ke	Annual Cash Flow (Rp)
1	1	8.524.089.668
2	2	8.524.089.668
3	3	8.524.089.668
4	4	8.524.089.668
5	5	8.524.089.668

Berdasarkan perhitungan arus kas tahunan, penerapan Onshore Power Connection menghasilkan annual cash flow sebesar Rp8.524.089.668 per tahun selama periode analisis lima tahun. Nilai arus kas ini diperoleh dari penghematan biaya operasional yang terjadi akibat berkurangnya konsumsi bahan bakar minyak selama proses bongkar kapal. Arus kas tersebut menjadi dasar dalam perhitungan kelayakan investasi yang dilakukan pada tahap selanjutnya.

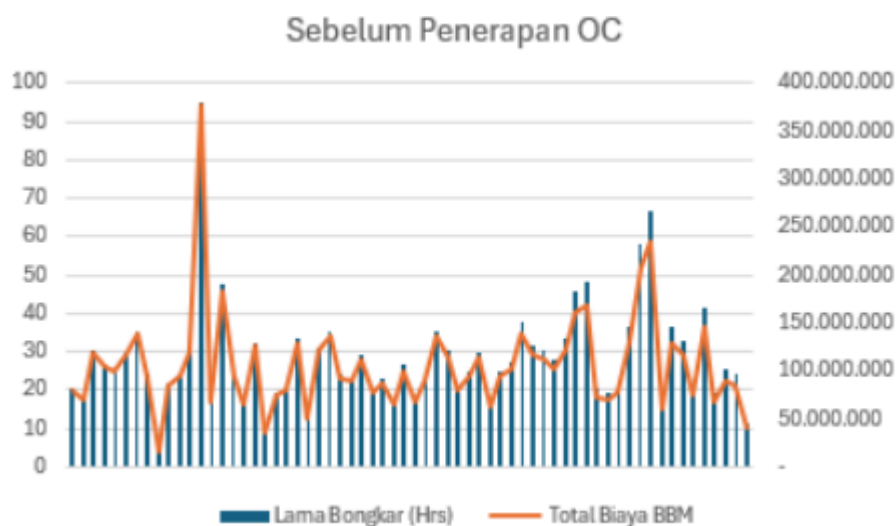
Tabel 3. Present Value

Tahun ke	Present Value (Rp)
1	7.610.794.346
2	6.795.352.095
3	6.067.399.579
4	5.417.279.738
5	4.836.911.802
Total	30.727.737.560

Hasil perhitungan Net Present Value menunjukkan bahwa total present value selama lima tahun sebesar Rp30.727.737.560. Dengan total investasi awal sebesar Rp21.022.692.792, diperoleh nilai NPV sebesar Rp9.705.044.768. Nilai NPV yang positif menunjukkan bahwa investasi penerapan Onshore Power Connection pada KM Adhiguna Tarahan layak secara ekonomi. Selain itu, hasil perhitungan Internal Rate of Return menunjukkan nilai IRR sebesar 29,3%, yang lebih besar dibandingkan tingkat diskonto yang digunakan. Perhitungan Payback Period menunjukkan bahwa periode pengembalian investasi berada pada kisaran 2,47 tahun, sehingga investasi dapat dikategorikan memiliki tingkat pengembalian yang relatif cepat.

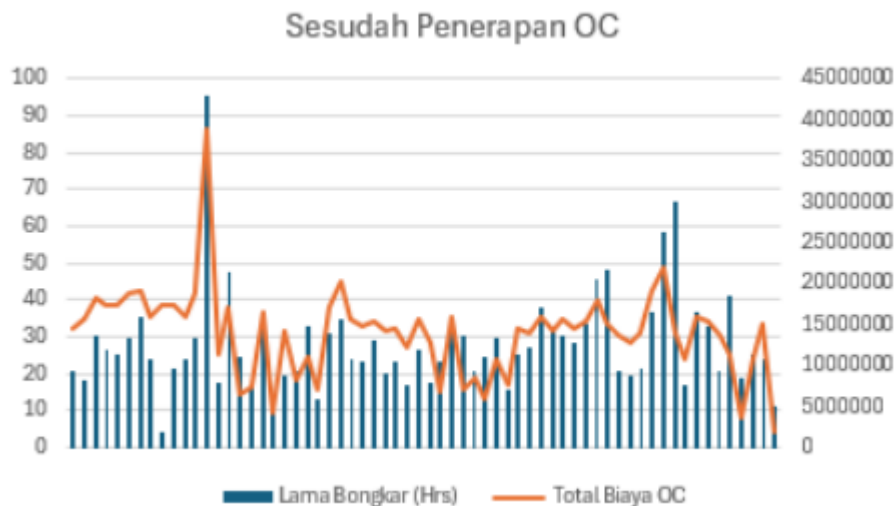
Data biaya operasional menunjukkan bahwa selama proses bongkar kapal, kebutuhan energi listrik pada kondisi sebelum penerapan Onshore Power Connection sepenuhnya dipenuhi oleh auxiliary engine yang beroperasi secara kontinu selama kapal sandar. Kondisi ini menyebabkan biaya operasional bahan bakar minyak menjadi sangat dipengaruhi oleh durasi bongkar kapal. Setelah penerapan Onshore Power Connection, seluruh kebutuhan energi listrik kapal selama bongkar dialihkan ke sumber listrik darat, sehingga auxiliary engine dimatikan sepenuhnya. Peralihan sumber energi ini menghasilkan penurunan biaya operasional yang signifikan dibandingkan kondisi sebelum penerapan Onshore Power Connection, serta menjadi dasar utama dalam perhitungan penghematan dan kelayakan investasi sistem tersebut.

Perbandingan biaya operasional bongkar kapal secara kuantitatif menunjukkan adanya selisih biaya yang signifikan antara penggunaan auxiliary engine berbahan bakar minyak dan penerapan Onshore Connection. Data perbandingan memperlihatkan bahwa pada hampir seluruh kegiatan bongkar kapal, total biaya operasional dengan menggunakan Onshore Connection lebih rendah dibandingkan biaya operasional berbasis bahan bakar minyak. Besarnya penghematan sangat dipengaruhi oleh durasi sandar kapal, dimana semakin lama waktu bongkar, semakin besar selisih biaya yang diperoleh dari penggunaan listrik darat dibandingkan dengan penggunaan auxiliary engine.



Gambar 1. Grafik Biaya Operasional Bongkar Sebelum Penerapan OPS

Grafik biaya operasional sebelum penerapan Onshore Power Connection memperlihatkan fluktuasi biaya yang cukup tinggi antar kegiatan bongkar. Fluktuasi tersebut terjadi karena biaya operasional sangat bergantung pada lama waktu bongkar kapal serta konsumsi bahan bakar minyak oleh auxiliary engine. Pada kondisi ini, setiap penambahan durasi sandar kapal secara langsung meningkatkan konsumsi bahan bakar dan total biaya operasional yang harus dikeluarkan.



Gambar 2 Grafik Biaya Operasional Bongkar Sesudah Penerapan OPS

Setelah penerapan Onshore Power Connection, grafik biaya operasional bongkar menunjukkan pola yang relatif lebih stabil dibandingkan kondisi sebelumnya. Penggunaan listrik darat sebagai sumber energi utama selama proses bongkar membuat biaya operasional lebih terkendali dan tidak lagi sepenuhnya dipengaruhi oleh fluktuasi konsumsi bahan bakar minyak. Hal ini menunjukkan bahwa sistem Onshore Connection mampu memberikan efisiensi biaya yang lebih konsisten selama kapal bersandar.

Secara keseluruhan, hasil perbandingan kuantitatif ini menegaskan bahwa penerapan Onshore Power Connection memberikan dampak positif terhadap efisiensi biaya operasional bongkar kapal. Penghematan yang diperoleh tidak hanya bersifat sesaat, tetapi terjadi secara berulang pada setiap kegiatan bongkar, sehingga berkontribusi langsung terhadap peningkatan kinerja ekonomi operasional kapal dalam jangka waktu analisis yang digunakan.

Perhitungan Emisi CO₂ Operasional Kapal Sebelum dan Sesudah Onshore Power Connection

Tabel 4. Data Kebutuhan Operasional Listrik Kapal Sebelum Penerapan OPS

Bulan	Auxiliary Load (kW)	Durasi Sandar (Jam)	Bly (kWh)
Januari	320	210,10	67.232,00
Februari	320	25,70	8.224,00
Maret	320	238,30	76.256,00
April	320	144,93	46.378,67
Mei	320	163,23	52.234,67
Juni	320	173,30	55.456,00
Juli	320	91,30	29.216,00
Agustus	320	52,40	16.768,00
September	320	161,10	51.552,00
Oktober	320	155,60	49.792,00
November	320	248,10	79.392,00
Desember	320	142,00	45.440,00

Tabel 5. Hasil Perhitungan Emisi Listrik Sebelum Penerapan OPS

Bulan	Kebutuhan Listrik Kapal (kWh)	Emisi Listrik Pelabuhan (ton CO ₂)
Januari	67.232,00	61,2
Februari	8.224,00	7,5
Maret	76.256,00	69,4
April	46.378,67	42,2
Mei	52.234,67	47,5
Juni	55.456,00	50,5
Juli	29.216,00	26,6
Agustus	16.768,00	15,3
September	51.552,00	46,9
Oktober	49.792,00	45,3
November	79.392,00	72,2
Desember	45.440,00	41,3
Total		525,9

Perhitungan emisi CO₂ pada kondisi sebelum penerapan Onshore Power Connection didasarkan pada kebutuhan energi listrik kapal yang seluruhnya dipenuhi oleh auxiliary engine selama proses bongkar. Auxiliary engine beroperasi secara kontinu untuk memenuhi kebutuhan listrik navigasi, penerangan, sistem pompa, serta peralatan bongkar. Konsumsi energi yang bersumber dari bahan bakar fosil tersebut kemudian dikonversi menjadi besaran emisi CO₂ menggunakan faktor emisi yang sesuai, sehingga diperoleh nilai emisi operasional kapal selama kegiatan bongkar pada periode pengamatan.

Tabel 6. Data Kebutuhan Operasional Listrik Kapal Sesudah Penerapan OPS

Bulan	Auxiliary Load (kW)	Durasi Sandar (Jam)	Bly (kWh)
Januari	150	210,10	31.515,00
Februari	150	25,70	3.855,00
Maret	150	238,30	35.745,00
April	150	144,93	21.740,00
Mei	150	163,23	24.485,00
Juni	150	173,30	25.995,00
Juli	150	91,30	13.695,00
Agustus	150	52,40	7.860,00
September	150	161,10	24.165,00
Oktober	150	155,60	23.340,00
November	150	248,10	37.215,00
Desember	150	142,00	21.300,00

Tabel 7. Hasil Perhitungan Emisi Listrik Sesudah Penerapan OPS

Bulan	Kebutuhan Listrik Kapal (kWh)	Emisi Listrik Pelabuhan (ton CO ₂)
Januari	31.515,00	28,7
Februari	3.855,00	3,5
Maret	35.745,00	32,5
April	21.740,00	19,9
Mei	24.485,00	22,3
Juni	25.995,00	23,6
Juli	13.695,00	12,5
Agustus	7.860,00	7,1
September	24.165,00	22,0
Oktober	23.340,00	21,2
November	37.215,00	33,9
Desember	21.300,00	19,4
Total		246,5

Setelah penerapan Onshore Power Connection, kebutuhan energi listrik kapal selama proses bongkar sepenuhnya dialihkan ke pasokan listrik darat. Pada kondisi ini, auxiliary engine dimatikan total sehingga tidak terjadi pembakaran bahan bakar minyak selama kapal sandar. Perhitungan emisi CO₂ dilakukan dengan mengonversi konsumsi energi listrik yang berasal dari jaringan darat menggunakan faktor emisi grid, dengan mempertimbangkan susut energi pada sistem. Hasil perhitungan menunjukkan bahwa emisi CO₂ yang dihasilkan pada kondisi ini lebih rendah dibandingkan kondisi sebelum penerapan Onshore Power Connection.

Perbandingan hasil perhitungan emisi CO₂ sebelum dan sesudah penerapan Onshore Power Connection menunjukkan adanya penurunan emisi yang konsisten

pada setiap kegiatan bongkar kapal. Penurunan tersebut dipengaruhi oleh peralihan sumber energi dari auxiliary engine berbahan bakar fosil ke listrik darat, serta durasi sandar kapal yang menentukan besarnya konsumsi energi selama proses bongkar. Dengan demikian, penerapan Onshore Power Connection tidak hanya berdampak pada efisiensi biaya operasional, tetapi juga memberikan kontribusi nyata terhadap pengurangan emisi CO₂ dari aktivitas kapal di pelabuhan.

Analisis Perbandingan Emisi CO₂ Akibat Penerapan Onshore Power Connection



Gambar 3. Grafik Perbandingan Biaya Operasional Sebelum dan Sesudah OPS

Grafik perbandingan biaya operasional sebelum dan sesudah penerapan Onshore Power Connection menunjukkan keterkaitan antara efisiensi biaya dan pengurangan emisi CO₂. Penurunan biaya operasional yang terjadi setelah penggunaan listrik darat sejalan dengan berkurangnya konsumsi bahan bakar minyak oleh auxiliary engine selama kapal bersandar. Kondisi ini menegaskan bahwa efisiensi ekonomi yang diperoleh dari penerapan Onshore Power Connection tidak terlepas dari perubahan pola konsumsi energi kapal.

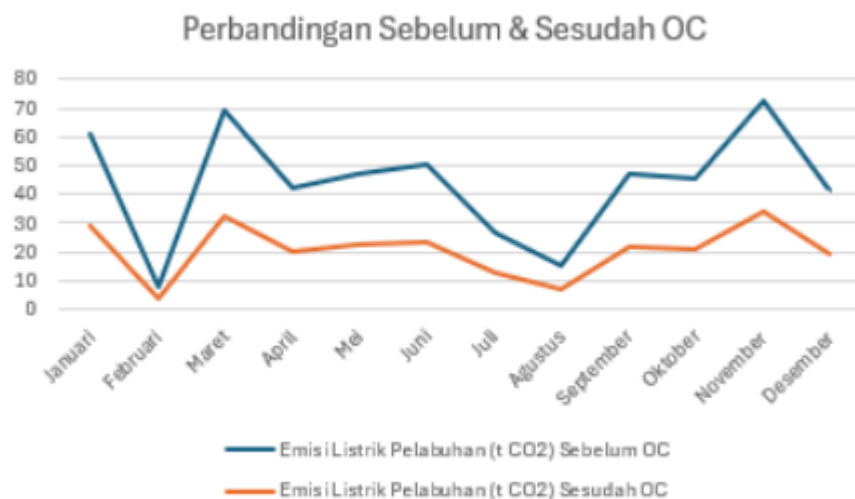


Gambar 4. Grafik Emisi CO₂ Sebelum Penerapan OPS



Gambar 5. Grafik Emisi CO₂ Sesudah Penerapan OPS

Grafik emisi CO₂ sebelum penerapan Onshore Power Connection memperlihatkan besarnya emisi yang dihasilkan selama proses bongkar akibat pengoperasian auxiliary engine secara kontinu. Emisi tersebut menunjukkan variasi yang mengikuti durasi sandar kapal, dimana semakin lama proses bongkar, semakin besar emisi CO₂ yang dihasilkan. Setelah penerapan Onshore Power Connection, grafik emisi CO₂ menunjukkan penurunan yang signifikan pada setiap kegiatan bongkar, seiring dengan dihentikannya operasi auxiliary engine dan pengalihan sumber energi ke listrik darat.



Gambar 6. Grafik Perbandingan Emisi CO₂ Sebelum dan Sesudah OPS

Grafik perbandingan emisi CO₂ sebelum dan sesudah penerapan Onshore Power Connection secara jelas menggambarkan dampak penurunan emisi yang dihasilkan dari penerapan sistem tersebut. Penurunan emisi terjadi secara konsisten pada seluruh periode pengamatan, menunjukkan bahwa penggunaan listrik darat selama kapal sandar memberikan kontribusi langsung terhadap pengurangan emisi gas rumah kaca di area pelabuhan. Hasil ini memperkuat temuan bahwa penerapan Onshore Power Connection pada KM Adhiguna Tarahan tidak hanya efektif dalam

menekan biaya operasional, tetapi juga berperan dalam mendukung upaya mitigasi emisi CO₂ dari sektor transportasi laut.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil analisis yang telah dilakukan, dapat disimpulkan bahwa penerapan Onshore Power Connection pada kapal KM Adhiguna Tarahan memberikan dampak positif secara ekonomi dan lingkungan. Dari sisi kelayakan investasi, hasil perhitungan menunjukkan nilai Net Present Value yang positif, nilai Internal Rate of Return yang lebih besar dari tingkat diskonto, serta periode Payback Period yang relatif singkat. Hal ini menandakan bahwa investasi penerapan Onshore Power Connection layak secara finansial dan mampu memberikan pengembalian yang menguntungkan dalam periode analisis yang digunakan. Selain itu, perbandingan biaya operasional menunjukkan bahwa penggunaan listrik darat selama proses bongkar mampu menurunkan biaya operasional secara signifikan dibandingkan dengan penggunaan auxiliary engine berbahan bakar minyak.

Dari sisi lingkungan, penerapan Onshore Power Connection terbukti mampu menurunkan emisi karbon dioksida (CO₂) yang dihasilkan selama kapal bersandar di pelabuhan. Peralihan sumber energi dari auxiliary engine ke listrik darat menyebabkan berkurangnya konsumsi bahan bakar fosil dan menurunkan emisi CO₂ secara konsisten pada setiap kegiatan bongkar. Hasil ini menunjukkan bahwa penerapan Onshore Power Connection tidak hanya berkontribusi terhadap efisiensi operasional kapal, tetapi juga mendukung upaya pengurangan emisi gas rumah kaca di sektor transportasi laut, khususnya pada aktivitas kapal di kawasan pelabuhan.

REFERENSI

- Abbass, K., Qasim, M. Z., Song, H., Murshed, M., Mahmood, H., & Younis, I. (2022). A review of the global climate change impacts, adaptation, and sustainable mitigation measures. *Environmental Science and Pollution Research*, 29(28), 42539–42559. <https://doi.org/10.1007/s11356-022-19718-6>
- Abd, A. A., Othman, M. R., & Kim, J. (2021). A review on application of activated carbons for carbon dioxide capture: Present performance, preparation, and surface modification for further improvement. *Environmental Science and Pollution Research*, 28(32), 43329–43364. <https://doi.org/10.1007/s11356-021-15121-9>
- Badan Keahlian DPR RI. (n.d.). *Potensi dan tantangan implementasi carbon capture and storage di Indonesia*. Pusat Analisis Keparlemenan, Badan Keahlian DPR RI.
- Diponegoro, U. (2023). *Laporan capaian carbon offsets*.
- Epa, U., Office of Transportation and Air Quality, & Compliance Division. (2017). *Shore power technology assessment at U.S. ports: 2022 update (EPA-420-R-22-037)*. United States Environmental Protection Agency.
- Frontiers Media SA. (2024). *Onshore power supply: Trends in research studies*. *Frontiers in Marine Science*. <https://doi.org/10.3389/fmars.2024.1383142>

- Indonesia Power. (n.d.). *Suralaya SPP (Indonesia Power-Generation Business Unit)*.
<https://www.indonesiapower.co.id>
- Kåberger, T. (2018). Progress of renewable electricity replacing fossil fuels. *Global Energy Interconnection*, 1(1), 48–52. <https://doi.org/10.14171/j.2096-5117.gei.2018.01.006>
- Lazkano, I., Nøstbakken, L., & Pelli, M. (2017). From fossil fuels to renewables: The role of electricity storage. *European Economic Review, Combating Climate Change. Lessons from Macroeconomics, Political Economy and Public Finance*, 99, 113–129. <https://doi.org/10.1016/j.euroecorev.2017.03.013>
- Kizielewicz, J. (2024). Onshore power supply: Trends in research studies. *Frontiers in Marine Science*. <https://doi.org/10.3389/fmars.2024.1383142>
- Maulita, M., & Adham, M. (2021). Dampak implementasi green shipping pada perusahaan pelayaran. *Sebatik*, 25(2), 390–398. <https://doi.org/10.46984/sebatik.v25i2.1469>
- Marine Insight. (2016). *Operation, procedures and safety*. <https://www.marineinsight.com>
- Muhali, M., Hulyadi, H., Khaeruman, K., Gargazi, G., & Azmi, I. (2025a). Identifying Analytical Thinking Skills in Forestry Students: Understanding Climate Change Awareness in the 21st Century Context. *Prisma Sains : Jurnal Pengkajian Ilmu Dan Pembelajaran Matematika Dan IPA IKIP Mataram*, 13, 283. <https://doi.org/10.33394/j-ps.v13i2.13644>
- Muhali, M., Hulyadi, H., Khaeruman, K., Gargazi, G., & Azmi, I. (2025b). Identifying Analytical Thinking Skills in Forestry Students: Understanding Climate Change Awareness in the 21st Century Context. *Prisma Sains : Jurnal Pengkajian Ilmu Dan Pembelajaran Matematika Dan IPA IKIP Mataram*, 13, 283. <https://doi.org/10.33394/j-ps.v13i2.13644>
- Osipova, L., & Carraro, C. (2023). *Shore power needs and CO₂ emissions reductions of ships in European Union ports: Meeting the ambitions of the FuelEU Maritime and AFIR*. International Council on Clean Transportation. <https://theicct.org>
- Purnomoasri, R. D., & Handayani, D. (2022). Analisis dan mitigasi emisi gas buang akibat transportasi (studi kasus Kabupaten Magetan). *ENVIRO: Journal of Tropical Environmental Research*, 24(1), 29. <https://doi.org/10.20961/enviro.v24i1.65043>
- Setiyo Huboyo, H., Andarani, P., & Hadiwidodo, I. M. (2018). Inventarisasi dan sebaran emisi aktivitas pelabuhan dengan AERMOD View. *Jurnal Teknik Lingkungan*, 15(1).
- Sun, L., Ding, P., Xiong, Y., Liu, W., & Hu, Z. (2022). Carbon emission reduction of shore power from power energy structure in China. *Frontiers in Marine Science*, 9. <https://doi.org/10.3389/fmars.2022.1077289>
- Rehman, A., Rauf, A., Ahmad, M., Chandio, A. A., & Deyuan, Z. (2019). The effect of carbon dioxide emission and the consumption of electrical energy, fossil fuel energy, and renewable energy, on economic performance: Evidence from Pakistan. *Environmental Science and Pollution Research*, 26(21), 21760–21773. <https://doi.org/10.1007/s11356-019-05550-y>

- Sesana, E., Gagnon, A. S., Ciantelli, C., Cassar, J., & Hughes, J. J. (2021). Climate change impacts on cultural heritage: A literature review. *WIREs Climate Change*, 12(4), e710. <https://doi.org/10.1002/wcc.710>
- Tol, R. S. J. (2018). The Economic Impacts of Climate Change. *Review of Environmental Economics and Policy*, 12(1), 4–25. <https://doi.org/10.1093/reep/rex027>
- Wang, J., Li, H., Yang, Z., & Ge, Y. E. (2024). Shore power for reduction of shipping emission in port: A bibliometric analysis. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 188. <https://doi.org/10.1016/j.tre.2024.103639>