

Analisis Penurunan Emisi Karbon Dan Peningkatan Efisiensi Biaya Distribusi Dengan Sistem PIPANISASI di Fuel Terminal Cikampek

¹Addy Raharja, ²Natasya Sondang Panjaitan

¹Logistik Minyak dan Gas, Politeknik Energi dan Mineral AKAMIGAS, Cepu

²Teknik Logistik, Universitas Pertamina, Jakarta Selatan

E-mail: ¹add09raharja@gmail.com, ²panjaitannatasya875@gmail.com

ABSTRAK

Distribusi bahan bakar minyak (BBM) di Indonesia, khususnya produk Pertamina Dex, masih banyak bergantung pada moda transportasi darat seperti mobil tangki yang memiliki berbagai keterbatasan, antara lain risiko keterlambatan pengiriman, tingginya konsumsi energi, dan kontribusi signifikan terhadap emisi karbon. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis penerapan sistem pipanisasi dalam menurunkan emisi karbon guna mendukung implementasi green logistics, mengevaluasi dampaknya terhadap efisiensi biaya distribusi Pertamina Dex, serta mengidentifikasi hambatan teknis dan non-teknis yang dihadapi dalam implementasinya di Fuel Terminal Cikampek. Metode yang digunakan mencakup pendekatan kuantitatif melalui analisis konsumsi energi, konversi emisi karbon berdasarkan standar IPCC, serta perhitungan efisiensi biaya antara moda mobil tangki dan pipanisasi. Selain itu, pendekatan kualitatif dilakukan melalui analisis *Failure Mode and Effect Analysis* (FMEA) untuk mengidentifikasi potensi risiko operasional dan menilai efektivitas solusi atas kendala kapasitas dan moda penerimaan produk. Evaluasi alternatif solusi dilakukan dengan mempertimbangkan aspek biaya, durasi implementasi, dampak keselamatan dan lingkungan (HSSE), serta kontribusinya terhadap praktik *green logistics*. Hasil penelitian menunjukkan bahwa pipanisasi mampu menurunkan emisi karbon secara signifikan dari 2.302,5 kg CO₂/bulan menjadi 116,64 kg CO₂/bulan, serta meningkatkan efisiensi biaya distribusi hingga 85%. Selain itu, penerapan pipanisasi melalui jalur *dedicated* dinilai mampu memperkuat ketahanan pasokan dengan mengurangi ketergantungan pada moda darat tunggal dan meminimalkan risiko keterlambatan suplai. Temuan ini mendukung rekomendasi implementasi pipanisasi sebagai langkah strategis dalam mewujudkan logistik migas yang efisien, andal, dan berkelanjutan.

Kata kunci : *pipanisasi, emisi karbon, efisiensi biaya, security of supply, green logistics.*

ABSTRACT

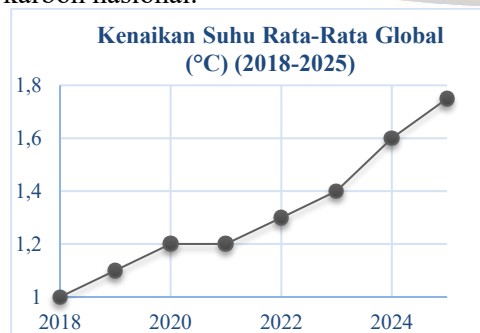
The distribution of fuel oil (BBM) in Indonesia, especially Pertamina Dex products, still relies heavily on land transportation modes such as tank cars which have various limitations, including the risk of delivery delays, high energy consumption, and significant contribution to carbon emissions. This study aims to analyze the application of the piping system in reducing carbon emissions to support the implementation of green logistics, evaluate its impact on Pertamina Dex's distribution cost efficiency, and identify technical and non-technical obstacles faced in its implementation at the Cikampek Fuel Terminal. The methods used include a quantitative approach through energy consumption analysis, carbon emission conversion based on IPCC standards, as well as cost efficiency calculations between tank car modes and piping. In addition, a qualitative approach is carried out through *Failure Mode and Effect Analysis* (FMEA) to identify potential operational risks and assess the effectiveness of solutions to capacity constraints and product acceptance modes. Evaluation of alternative solutions is carried out by considering the aspects of cost, duration of implementation, safety and environmental impact (HSSE), and their contribution to green logistics practices. The results show that pipelineization is able to significantly reduce

carbon emissions from 2,302.5 kg CO₂/month to 116.64 kg CO₂/month, as well as increase distribution cost efficiency by up to 85%. In addition, the implementation of pipelines through dedicated channels is considered to be able to strengthen supply resilience by reducing dependence on a single land mode and minimizing the risk of supply delays. These findings support the recommendations for the implementation of pipelineization as a strategic step in realizing efficient, reliable, and sustainable oil and gas logistics.

Keyword : *Pipelines, carbon emissions, cost efficiency, security of supply, green logistics.*

1. PENDAHULUAN

Permasalahan lingkungan dan efisiensi energi di sektor industri, termasuk sektor distribusi energi dan bahan bakar, semakin menjadi sorotan seiring meningkatnya kesadaran global terhadap dampak perubahan iklim. Sektor distribusi energi, khususnya yang masih menggunakan sistem konvensional berbasis transportasi darat berbahan bakar fosil, menjadi salah satu penyumbang signifikan emisi gas rumah kaca (GRK). Sistem ini tidak hanya menghasilkan emisi karbon dalam jumlah besar, tetapi juga memicu berbagai permasalahan lain seperti inefisiensi konsumsi energi, tingginya biaya operasional, serta risiko keselamatan dalam rantai pasok (Intergovernmental Panel on Climate Change, 2025). Ketergantungan terhadap moda transportasi darat juga membuat distribusi BBM rentan terhadap kendala seperti kemacetan, keterlambatan pengiriman, dan kecelakaan. Oleh karena itu, pengembangan sistem distribusi yang lebih efisien, andal, dan berkelanjutan menjadi kebutuhan mendesak untuk mendukung agenda penurunan emisi karbon nasional.



Gambar 1. Kenaikan Suhu Rata-rata Global
Sumber: (Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, 2025)

Perubahan iklim global yang dipicu oleh peningkatan emisi gas rumah kaca telah menyebabkan lonjakan suhu rata-rata bumi dan menimbulkan dampak serius terhadap keberlanjutan lingkungan. Berdasarkan laporan Copernicus Climate Change Service (2024) dan Organisasi Meteorologi Dunia, suhu rata-rata global pada tahun 2024 tercatat 1,6°C lebih tinggi dibandingkan tingkat pra-industri, melampaui batas 1,5°C yang ditetapkan dalam Perjanjian Paris. Tren serupa terjadi di Indonesia. Badan Meteorologi, Klimatologi, dan Geofisika melaporkan bahwa suhu rata-rata nasional pada tahun 2024 mencapai 27,53°C, tertinggi sejak pencatatan dilakukan. Kondisi ini diperburuk oleh aktivitas manusia, terutama emisi gas rumah kaca dari sektor energi dan transportasi (Intergovernmental Panel on Climate Change, 2026). Kenaikan suhu ini memperbesar risiko terjadinya cuaca ekstrem seperti gelombang panas, banjir, dan kekeringan yang dapat mengancam ekosistem, ketahanan pangan, dan kesehatan masyarakat.

Sektor transportasi, terutama transportasi darat, menjadi penyumbang utama emisi karbon di Indonesia. Data Kementerian Perhubungan tahun 2024 dan KLHK tahun 2023 menunjukkan bahwa sektor ini menyumbang lebih dari 20% total emisi nasional, dengan sekitar 90% berasal dari transportasi darat. Moda transportasi darat berbasis bahan bakar fosil masih mendominasi distribusi BBM nasional, sehingga berkontribusi besar terhadap pencemaran udara dan pemanasan global. Selain itu, transportasi darat menimbulkan biaya logistik tinggi

dan risiko kecelakaan. Upaya penurunan emisi di sektor ini menjadi krusial untuk mencapai target pembangunan rendah karbon. Oleh karena itu, pengembangan moda distribusi alternatif yang lebih efisien dan ramah lingkungan seperti pipanisasi menjadi salah satu solusi strategis yang diharapkan mampu mendukung komitmen Indonesia dalam menurunkan emisi gas rumah kaca sesuai dengan Rencana Aksi Nasional Penurunan Emisi Gas Rumah Kaca (RAN-GRK).

Pertamina melalui PT Pertamina Patra Niaga telah mulai mengimplementasikan sistem pipanisasi di Fuel Terminal Cikampek sebagai bagian dari strategi distribusi energi berkelanjutan. Sistem ini menawarkan berbagai keunggulan dibanding moda distribusi konvensional, mulai dari efisiensi biaya operasional, pengurangan risiko kecelakaan, peningkatan keamanan pasokan, hingga kontribusi signifikan terhadap pengurangan emisi karbon. Penelitian sebelumnya (Zhang et al., 2020) menunjukkan bahwa distribusi BBM melalui jaringan pipa mampu menurunkan emisi karbon hingga 50% dibandingkan transportasi darat berbahan bakar fosil. Meskipun memerlukan investasi awal yang besar dan menghadapi tantangan teknis, pipanisasi dinilai layak untuk jangka panjang. Proyeksi permintaan BBM nasional yang masih cukup tinggi hingga 20 tahun mendatang (Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral, 2021; International Energy Agency, 2021) mendukung kelayakan sistem ini sebagai moda utama distribusi BBM di masa depan.

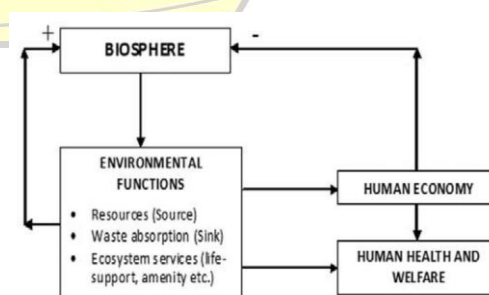
Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis dampak pendistribusian BBM melalui pipanisasi terhadap efisiensi logistik, keamanan pasokan, dan penurunan emisi karbon dalam mendukung green logistics di Fuel Terminal Cikampek. Selain mengukur

efisiensi biaya distribusi Pertamina Dex, penelitian ini juga mengidentifikasi hambatan teknis dan non-teknis dalam implementasi pipanisasi. Hasilnya diharapkan dapat memberikan rekomendasi strategis bagi Pertamina dan para pemangku kepentingan guna mendukung target pembangunan rendah karbon sesuai dengan Rencana Aksi Nasional Penurunan Emisi Gas Rumah Kaca (RAN-GRK).

2. LANDASAN TEORI

Environmental Sustainability

(Holling C, 1995) mendefinisikan kelestarian lingkungan dengan berfokus pada aspek biogeofisika. Keberlanjutan biofisik berarti menjaga atau meningkatkan integritas sistem pendukung kehidupan bumi. Mempertahankan biosfer dengan ketentuan yang memadai untuk memaksimalkan pilihan masa depan termasuk memungkinkan generasi saat ini dan masa depan untuk mencapai peningkatan ekonomi dan sosial dalam kerangka keanekaragaman budaya sambil mempertahankan (a) keanekaragaman hayati dan (b) integritas biogeokimia biosfer melalui konservasi dan penggunaan sumber daya udara, air, dan lahan yang tepat. Lingkungan dan manusia memiliki konsep yang saling berkaitan. Hubungan ini dapat dijelaskan pada Gambar 2.



Gambar 2. Hubungan antara Fungsi Lingkungan dan Manfaat Manusia

Distribusi

Proses pemindahan suatu produk atau jasa yang dikembangkan dan dikelola sesuai dengan visi dan misi perusahaan dalam suatu kondisi lingkungan tertentu dan sesuai dengan kebutuhan dan keinginan dari konsumen disebut dengan manajemen distribusi (Gattorna, 1996). Dalam mengelola proses pemindahan barang, diperlukan pendekatan yang berorientasi pada pengambilan keputusan, dimulai dari tahap perencanaan, pengorganisasian, pelaksanaan, hingga pengendalian. Menurut David A. Revzan dalam bukunya *Marketing Organization Through the Channel*, saluran distribusi dijelaskan sebagai jalur aliran barang yang bergerak dari produsen, melalui perantara, hingga akhirnya sampai ke konsumen akhir. Di sisi lain, American Marketing Association (AMA) mendefinisikan saluran distribusi sebagai struktur organisasi yang melibatkan berbagai pihak, baik dari dalam maupun luar perusahaan, termasuk pedagang besar atau distributor, agen, serta pengecer (Suryanto, 2016).

Emisi Transportasi

Emisi transportasi adalah pelepasan gas buang dari sektor transportasi. Gas buang ini berasal dari kendaraan bermotor yang melepaskan berbagai jenis polutan dan partikel ke atmosfer. Pencemaran udara yang disebabkan oleh emisi kendaraan terutama dipicu oleh mutu bahan bakar minyak yang rendah, kemacetan lalu lintas, serta perilaku pengemudi di jalan raya (Ilyas, 2004; Tamin, 2008; Nutramon, 2009; Tong, 2011). [9] Peningkatan volume lalu lintas yang mengalami kemacetan berdampak signifikan terhadap penurunan kualitas udara. Fenomena ini terjadi akibat akumulasi emisi gas buang dari kendaraan yang dilepaskan ke lingkungan secara bersamaan. Besarnya emisi yang dihasilkan oleh arus lalu lintas dipengaruhi oleh beberapa faktor, di antaranya jenis kendaraan baik kendaraan

ringan (LV) maupun kendaraan berat (HV), umur kendaraan, jenis bahan bakar yang digunakan, serta pola siklus mengemudi di jalan raya.

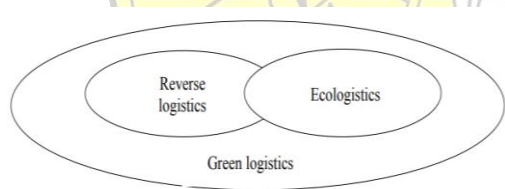
Kendaraan bermotor melepaskan berbagai polutan berbentuk senyawa kimia, seperti karbon monoksida (CO), nitrogen dioksida (NO₂), hidrokarbon (HC), karbon dioksida (CO₂), dan partikulat (PM). Polutan ini terbentuk melalui proses pembakaran bahan bakar di dalam mesin kendaraan. Senyawa-senyawa tersebut diketahui berbahaya bagi kesehatan manusia, sementara karbon dioksida (CO₂) juga berkontribusi terhadap pemanasan global (*global warming*). Oleh sebab itu, pengendalian besaran emisi setiap polutan dari kendaraan bermotor menjadi aspek penting dalam upaya menjaga kualitas udara (Aly, 2015).

Green Logistic

Green logistic didefinisikan sebagai serangkaian praktik dan strategi manajemen rantai pasokan yang mengurangi jejak ekologi dan energi dari distribusi barang, yang berfokus pada penanganan material, pengelolaan limbah, dan pengelolaan limbah, pengemasan, dan transportasi (Stolka & Kubicka, 2019). Penelitian lain mendefinisikan *green logistic* sebagai manajemen rantai pasokan hijau oleh perusahaan (organisasi), yang memperhitungkan masalah lingkungan dan mengintegrasikannya dengan manajemen rantai pasokan untuk mengubah kinerja lingkungan pemasok dan pelanggan (Lee & Klassen, 2008). Aktivitas *green logistic* mencakup pengukuran dampak lingkungan dari berbagai strategi distribusi, pengurangan konsumsi energi dalam aktivitas logistik, pengurangan jumlah limbah, dan manajemen pengolahannya (Sibihi & Eglese, 2009).

Konsep *green logistic* mencakup semua aktivitas yang terkait dengan

pengelolaan aliran produk (*push* dan *pull*) dan informasi yang efisien secara ekologis dengan tujuan menciptakan nilai tambah bagi pelanggan dan memenuhi kebutuhan mereka (Mesjasz-Lech, 2011). Singkatnya, *green logistic* dimaksudkan untuk memastikan bahwa proses logistik dilakukan dengan benar, sambil meminimalkan dampak buruknya terhadap lingkungan alam. *Green logistic* adalah konsep bertingkat yang mencakup aktivitas logistik "*green*", serta aktivitas sosial yang membantu manajemen, standarisasi, dan pengendalian logistik hijau (Zheng & Zhang, 2010). Meskipun *green logistic* dan *ecologistics* sering dianggap sebagai gagasan yang identik, tampaknya gagasan *green logistic* sedikit lebih luas daripada *ecologistics*, dan jauh lebih luas dibandingkan dengan *reverse logistic*. Ketiga konsep tersebut saling terkait erat dan digunakan dalam ekonomi sirkular. Hubungan antara *reverse logistics*, *ecologistics*, dan *green logistics* diilustrasikan dalam Gambar 3.



Gambar 3. Hubungan antara *Reverse Logistics*, *Ecologistics*, dan *Green Logistics*

FMEA atau *Failure Mode and Effect Analysis*

FMEA atau *Failure Mode and Effect Analysis* merupakan salah satu pendekatan sistematis yang digunakan untuk mengidentifikasi potensi kegagalan dalam suatu sistem, produk, atau proses serta menganalisis dampaknya terhadap kinerja keseluruhan. FMEA pada dasarnya berfokus pada tiga komponen utama, yaitu *Severity* (S), *Occurrence* (O), dan *Detection* (D). Ketiga komponen ini dikalkulasi untuk memperoleh nilai *Risk Priority Number* (RPN) yang menjadi dasar dalam menentukan prioritas penanganan risiko. Semakin tinggi nilai

RPN, semakin besar potensi kerugian atau kegagalan yang dapat terjadi, sehingga tindakan pencegahan atau perbaikan harus segera dilakukan (McDermott et al., 2009).

Menurut AIAG (Automotive Industry Action Group, 2019), FMEA menjadi alat penting dalam pendekatan *risk-based thinking*, sejalan dengan prinsip manajemen mutu ISO 9001:2015. FMEA banyak diterapkan dalam berbagai industri, termasuk manufaktur, otomotif, penerbangan, serta energi dan logistik. Keunggulan metode ini adalah pendekatannya yang bersifat preventif, bukan reaktif, sehingga sangat efektif dalam mengurangi potensi risiko sebelum menyebabkan kerugian nyata (Yang, 2005). Dalam distribusi energi seperti bahan bakar minyak (BBM), FMEA dapat diterapkan untuk mengevaluasi komponen sistem pipanisasi mulai dari pompa, valve, sensor tekanan, hingga pipeline itu sendiri. Setiap potensi kegagalan (*failure mode*) dianalisis berdasarkan:

- *Severity* (S): Tingkat keparahan dampak jika kegagalan terjadi.
- *Occurrence* (O): Kemungkinan terjadinya kegagalan tersebut.
- *Detection* (D): Kemampuan sistem dalam mendeteksi kegagalan sebelum berdampak luas.

Nilai-nilai ini biasanya diberi skor dari 1 hingga 10, lalu dikalikan untuk mendapatkan *Risk Priority Number* (RPN):

$$RPN = S \times O \times D \quad (1)$$

Pipanisasi

Dalam distribusi air, pipanisasi didefinisikan sebagai jaringan distribusi air yang memanfaatkan perbedaan elevasi tanah (gravitasi) untuk mengalirkan air secara alami melalui pipa, tanpa penggunaan pompa (Jass & Fitri, 2018). Selain itu, penelitian lain menyebutkan bahwa sistem pipanisasi berbasis gravitasi memungkinkan suplai air berkelanjutan ke lahan pertanian tanpa kebutuhan energi eksternal, mendukung ketahanan pertanian masyarakat. Sehingga dapat disimpulkan bahwa pipanisasi adalah sistem pengaliran cairan melalui pipa

tertutup untuk distribusi yang lebih efisien, aman, dan berkelanjutan. Cairan yang dialirkan menggunakan pipanisasi bisa berbentuk air, bahan bakar minyak, maupun gas.

Tabel 1. Penelitian Terdahulu

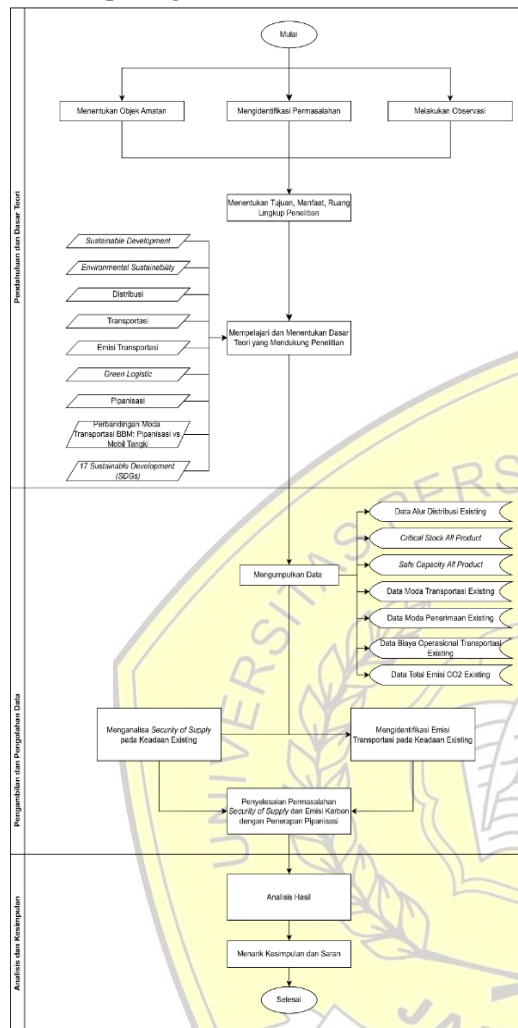
No	Penelitian Terdahulu	
1	Nama Peneliti	Thanyakarn Pootakham, Amit Kumar
	Tahun Penelitian	2010
	Sumber	<i>Bioresource Technology</i>
	Peringkat Kualitas Jurnal Ilmiah	Q1 (Quartile 1)
	Judul Penelitian	<i>A Comparison of Pipeline Versus Truck Transport of Bio-Oil</i>
2	Nama Peneliti	Bret Strogon, Kendon Bell, Hanna Breunig, David Zilberman
	Tahun Penelitian	2016
	Sumber	<i>Applied Energy</i>
	Peringkat Kualitas Jurnal Ilmiah	Q1 (Quartile 1)
	Judul Penelitian	<i>Environmental, Public Health, and Safety Assessment of Fuel Pipelines and Other Freight Transportation Modes</i>
3	Nama Peneliti	V.E. Onyebuchi, A. Kolios, D.P. Hanak, C. Biliyok, V. Manovic
	Tahun Penelitian	2017
	Sumber	<i>Renewable and Sustainable Energy Reviews</i>
	Peringkat Kualitas Jurnal Ilmiah	Q1 (Quartile 1)

No	Penelitian Terdahulu	
	Judul Penelitian	<i>A Systematic Review of Key Challenges of CO2 Transport Via Pipelines</i>
4	Nama Peneliti	Mohammad Marufuzzaman, Sandra D. Eksioglu, Rafael Hernandez
	Tahun Penelitian	2015
	Sumber	<i>Transportation Research Part A</i>
	Peringkat Kualitas Jurnal Ilmiah	Q1 (Quartile 1)
	Judul Penelitian	<i>Truck Versus Pipeline Transportation Cost Analysis of Wastewater Sludge</i>
5	Nama Peneliti	Amir Tabesh; Mohammad Najafi; Taha Ashoori; Raziieh Tavakoli; Seyed Mohsen Shahandashti.
	Tahun Penelitian	2017
	Sumber	ASCE
	Peringkat Kualitas Jurnal Ilmiah	Q1 (Quartile 1)
	Judul Penelitian	<i>Environmental Impacts of Pipeline Construction for Underground Freight Transportation</i>

3. METODOLOGI

Metodologi akan berfokus pada tahapan yang dilakukan untuk mencapai tujuan penelitian. Penelitian ini berfokus pada penurunan emisi karbon dan peningkatan efisiensi biaya distribusi dengan sistem pipanisasi di Fuel Terminal

Cikampek. Adapun metodologi dapat dilihat pada gambar berikut.



Gambar 4. Alur Metodologi Penelitian

Metodologi pada penelitian ini didukung oleh pengolahan data dengan mengidentifikasi emisi karbon dari proses distribusi di Fuel Terminal Cikampek. Identifikasi emisi karbon ini khususnya dilakukan pada proses transportasi dengan cara melakukan perhitungan emisi karbon selama menggunakan mobil tangki untuk pengantaran BBM pada keadaan existing. Hasil dari identifikasi ini akan dijadikan sebagai perbandingan dalam penggunaan moda transportasi pada proses distribusi BBM di Fuel Terminal Cikampek. Berikut adalah perhitungan dalam mengidentifikasi emisi transportasi pada mobil tangki.

a. Perhitungan Konsumsi Energi

Konsumsi Energi (TJ)

$$= \text{Jumlah Bahan Bakar (L)} \times \text{Nilai Kalor} \left(\frac{TJ}{L} \right) \quad (2)$$

b. Perhitungan Emisi CO_2 pada Mobil Tanki

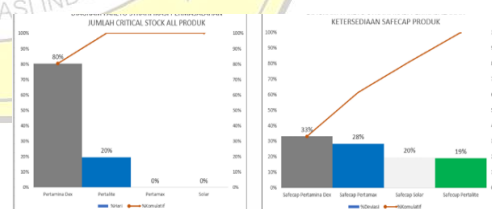
Emisi CO_2 MT (kg)

$$= \text{Konsumsi Energi (TJ)} \times \text{Faktor Emisi} \left(\frac{kg}{TJ} \right) \quad (3)$$

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Deskripsi Permasalahan

Fuel Terminal Cikampek merupakan sebuah depo yang melakukan pendistribusian BBM dengan mobil tangki. Produk BBM yang disalurkan adalah Pertalite, Pertamina, Pertamina Turbo, Solar, Pertamina Dex, dan Biosolar. Berdasarkan hasil analisa di FT. Cikampek pada periode waktu 1 Januari 2023 sampai Desember 2023, produk Pertamina Dex sangat sering mengalami kondisi stock kritis, yaitu sebanyak 53 kali. Hal ini sangat berdampak pada *security of supply* produk Pertamina Dex, dikarenakan *coverage area* suplai produk Pertamina Dex sangat luas dan mengacu pada pedoman PT Pertamina Patra Niaga perihal pengendalian ketahanan *Stock Main Terminal* dan *End Terminal*, dimana terdapat kategori *warning & critical stock* pada kondisi *Coverage Day* < 3 hari.

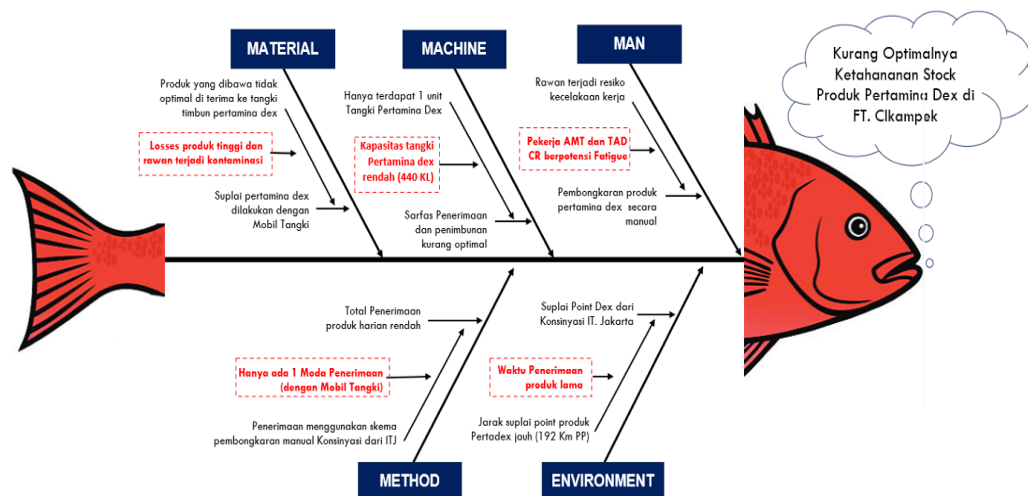


Gambar 5. Diagram Pareto Analisis Critical Stock dan Ketersediaan SafeCap All Produk

Permasalahan yang timbul tersebut harus segera ditindaklanjuti yang dibantu dengan adanya analisis faktor penyebab permasalahan. Penelitian ini menggunakan *fishbone diagram* sebagai alat bantu berbentuk visual yang

digunakan untuk mengidentifikasi dan mengorganisir penyebab potensial dari suatu masalah atau efek. Dalam menelusuri akar permasalahan yang timbul, *fishbone diagram* terdiri dari 5 (lima) aspek, yaitu *material*, *machine*, *man*, *method*, dan *environment*. Dari *fishbone diagram*, dapat disimpulkan bahwa rendahnya ketahanan stok Pertamina Dex di Fuel Terminal

Cikampek disebabkan oleh kombinasi berbagai faktor, antara lain keterbatasan fasilitas dan moda distribusi, risiko kontaminasi dan kelelahan pekerja, serta kendala geografis dan metode pengiriman yang kurang efisien. Penanganan isu-isu ini perlu dilakukan secara komprehensif untuk meningkatkan keandalan sistem distribusi dan mendukung kesinambungan pasokan energi.



Gambar 6. *Fishbone Diagram*

Selain itu, penggunaan moda transportasi darat berupa mobil tangki dalam volume besar untuk penerimaan produk Pertamina Dex pada masa kini dinilai kurang berkelanjutan secara lingkungan, mengingat kontribusinya yang signifikan terhadap peningkatan emisi karbon dari sektor transportasi. Dalam *Sustainable Systems Theory*, strategi Net Zero adalah bentuk tanggung jawab industri untuk menjaga kesinambungan ekologi dan ekonomi dalam jangka panjang. Sedangkan penggunaan mobil tangki sebagai moda transportasi tidak mendukung hal tersebut karena menghasilkan tingkat emisi karbon yang tinggi. Oleh karena itu, diperlukan penyelesaian permasalahan berbentuk solusi yang relevan dengan rumusan masalah dalam penelitian ini.

Analisis Hasil

Pemilihan penggunaan pipanisasi dengan penerapan *green logistics* melalui transformasi distribusi BBM di Fuel Terminal Cikampek menghasilkan beberapa dampak positif yang signifikan, baik dari sisi waktu operasional (*delivery*), efisiensi biaya (*cost*), risiko operasional (*safety*), maupun pengurangan emisi karbon. Berikut adalah hasil utama yang telah dicapai:

Analisis Waktu Operasional -*Delivery*

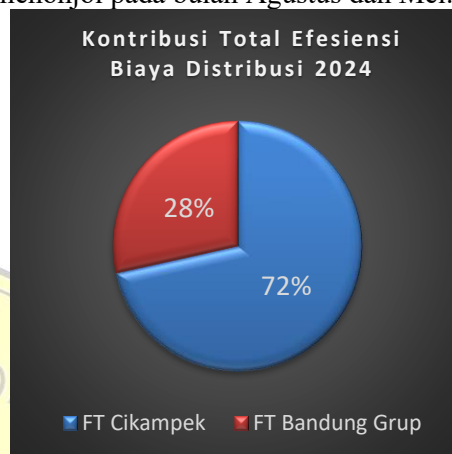
Transformasi dari moda transportasi konvensional (mobil tangki) ke sistem pipanisasi telah mempercepat waktu pengiriman bahan bakar. Dengan menggunakan jalur pipa, waktu yang dibutuhkan untuk mendistribusikan Pertamina Dex dari Integrated Terminal Balongan ke Fuel Terminal Cikampek menjadi lebih singkat. Hal ini tidak hanya

meningkatkan kecepatan pengiriman tetapi juga memastikan ketersediaan bahan bakar yang lebih konsisten di SPBU dan pelanggan industri.

Analisis Efisiensi Biaya – Cost

Implementasi pipanisasi menghasilkan penghematan biaya suplai produk Pertamina Dex sebesar Rp. 1,646 Miliar per tahun (periode Februari s.d Desember 2024). Komponen-komponen biaya yang berhasil diefisiensikan adalah *cost rupiah per liter*, yang meliputi biaya *ownuse*, biaya *handling* SPBU-T, biaya *etol*, biaya SPPD (Surat Penugasan Perjalanan Dinas) awak mobil tangki, dan biaya *handling* NGS (*New Gantry System*) yang timbul dari suplai point. Biaya operasional untuk transportasi melalui jalur pipa bernilai Rp. 0 karena suplai BBM dengan menggunakan jalur pipa tidak memerlukan biaya transportasi (*distribution cost*) sehingga terjadi pengurangan biaya hingga 100% untuk suplai produk Pertamina Dex. Disamping itu juga dampak dari ketahanan stok produk Pertamina Dex di Fuel Terminal Cikampek yang cukup tinggi, menghasilkan solusi baru yaitu perubahan pola suplai produk Pertamina Dex ke Fuel Terminal Bandung yang semula disuplai dari Integrated Terminal Jakarta dialihkan menjadi dari Fuel Terminal Cikampek. Hal ini menambah kontribusi penghematan biaya transportasi mobil tangki dari sisi jarak dan menghasilkan *cost rupiah per liter* yang lebih murah. Implementasi inisiatif efisiensi distribusi Pertamina Dex di dua Fuel Terminal (FT) utama, yaitu FT Cikampek dan FT Bandung Grup, menunjukkan hasil yang signifikan di tahun 2024. Berdasarkan data yang telah diolah, total penghematan yang berhasil dicapai mencapai Rp1,645 miliar. Dari jumlah tersebut, FT Cikampek memberikan kontribusi terbesar dengan total penghematan sebesar Rp1,176 miliar atau sekitar 71,5% dari total, sedangkan FT Bandung Grup menyumbang sebesar Rp468 juta atau

28,5%. Sehingga secara bulanan, FT Bandung Grup menunjukkan efisiensi yang lebih stabil dan merata sepanjang tahun, dengan peningkatan paling menonjol pada bulan Agustus dan Mei.



Gambar 7. Kontribusi Total Efisiensi Biaya Distribusi 2024

Sementara itu, FT Cikampek menunjukkan lonjakan penghematan yang menonjol terutama pada bulan Juli dan April, yang masing-masing menyumbang lebih dari Rp200 juta. Hal ini mengindikasikan keberhasilan penggunaan pipanisasi sebagai alternatif distribusi yang lebih efisien dibandingkan moda transportasi darat konvensional seperti mobil tangki.

Analisis Risiko Operasional - HSSE

Berdasarkan hasil penerapan pipanisasi dan peningkatan kapasitas penimbunan BBM, distribusi Pertamina Dex dari *loading port* ke Fuel Terminal Cikampek berhasil menghilangkan ketergantungan pada mobil tangki. Selain itu, ketahanan stok di Fuel Terminal Cikampek menjadi meningkat cukup signifikan dari semula rata-rata 6,8 hari menjadi rata-rata 66 hari (meningkat sebesar 871%), dan pasca implementasi di Fuel Terminal Cikampek telah berhasil menghilangkan kejadian stok kritis BBM pada produk Pertamina Dex.

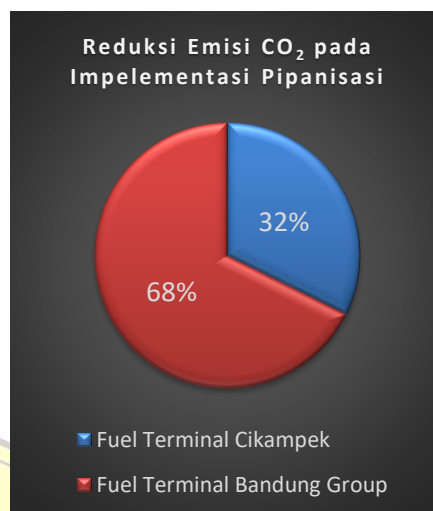
Analisis Emisi Karbon

Emisi karbon dari aktifitas distribusi BBM produk Pertamina Dex ke Fuel Terminal Cikampek berkurang secara signifikan, dibandingkan moda transportasi berbasis kendaraan bermotor. Hal ini dibuktikan melalui perhitungan di bawah ini. Penurunan ini dipengaruhi oleh 2 (dua) lokasi yaitu penurunan emisi karbon di Fuel Terminal Cikampek dan Fuel Terminal Padalarang dengan total penurunan emisi karbon sebesar 213.808,140 kg.

Tabel 2. Perbandingan Emisi Residual dan Reduksi Emisi

Lokasi Depo	Emisi CO ₂ (kg)	
	Emisi Residual (Setelah PIPANISASI)	Reduksi Emisi
Fuel Terminal Cikampek	4.973.280	69.077,50
Fuel Terminal Bandung Group	8.360.170	144.730,64

Reduksi ini menunjukkan efektivitas sistem pipanisasi dalam mengurangi emisi karbon yang sebelumnya ditimbulkan oleh moda transportasi darat seperti mobil tangki. Artinya, walaupun Fuel Terminal Bandung Group menghasilkan emisi residual yang lebih besar, pengurangan emisinya juga lebih signifikan. Hal ini mengindikasikan bahwa sebelum pipanisasi, metode distribusi di lokasi tersebut jauh lebih intensif menghasilkan emisi. Hal ini juga memperkuat temuan bahwa skala operasional yang lebih besar memungkinkan penghematan emisi yang lebih besar melalui pipanisasi. Maka dapat disimpulkan bahwa penggunaan pipanisasi mampu memberikan dampak yang besar tidak hanya pada Fuel Terminal Cikampek, namun juga berdampak besar pada Fuel Terminal Bandung Group, khususnya Fuel Terminal Padalarang.



Gambar 8. Reduksi Emisi CO₂ pada Implementasi PIPANISASI

Analisa Kelayakan Proyek PIPANISASI

Tabel 3. Data Analisis Kelayakan Proyek

No.	Komponen	Nilai
1	Biaya Investasi (<i>Cleaning</i> Tanki, Pemasangan & Modifikasi Pipa, dll)	Rp 277.424.000
2	Biaya Investasi Lain	Diabaikan (sudah terpasang)
3	Penghematan Biaya Operasional per Tahun	Rp 1.412.788.707
4	Biaya <i>Maintenance</i> per 2 tahun	Rp 44.232.000
5	<i>Net Cash Flow</i> Tahun <i>Maintenance</i>	Rp 1.368.556.707
6	Umur Ekonomis Proyek	20 Tahun
7	<i>Discount Rate</i> (Tingkat Diskonto)	8%, 10%, 12%
8	Nilai Sisa	Diabaikan (proyeksi depresiasi aset dengan nilai buku aset akan menjadi 0 setelah 20 tahun)

Dengan pola *Cash Flow* sebagai berikut:

- Tahun tanpa maintenance:
 $Cash\ Flow = Rp\ 1.412.788.707$
- Tahun dengan maintenance (tahun ke-2, 4, 6, 8, 10, 12, 14, 16, 18, 20):
 $Cash\ Flow = Rp\ 1.412.788.707 - Rp\ 44.232.000 = Rp\ 1.368.556.707$

Faktor *Present Value Annuity* (PVA):

$$PV\ A = \frac{1 - (1+r)^{-n}}{r} \quad (3)$$

Net Present Value (NPV)

$$NPV = \sum_{t=1}^n \frac{CF_t}{(1+r)^t} - C_0 \quad (4)$$

Profitability Index (PI)

$$PI = \frac{PV_{Benefit}}{PV_{Cost}} \quad (5)$$

Payback Period

$$Payback\ Period = \frac{C_0}{CF} \quad (6)$$

Keterangan:

- C_0 = Biaya Awal (*Initial Cost*)
- CF = *Cash Flow*
- NPV = Net Present Value
- CF_t = *Cash Flow* pada tahun ke- t
- r = *Discount Rate* (Tingkat Diskonto)
- C_0 = Biaya Awal (*Initial Cost*)
- n = Umur Ekonomi Proyek
- PI = *Profitability Index*
- $PV\ Benefit$ = *Present Value of Benefit*
- $PV\ Cost$ = *Initial Cost*
- $PV\ A$ = *Present Value Annuity Factor*
- r = *Discount Rate* (Tingkat Diskonto)
- n = Umur Ekonomi Proyek

Tabel 4. Hasil Perhitungan Kelayakan Proyek PIPANISASI

Diskonto	Total PV (Rp)	NPV (Rp)	PI	Payback Period
8%	13.18 1.145. 798	12.903.7 21.798	46,51	2,4 bulan
10%	11.50 9.472. 410	11.232.0 48.410	40,49	2,4 bulan

Diskonto	Total PV (Rp)	NPV (Rp)	PI	Payback Period
12%	11.38 5.104. 634	11.107. 680.63 4	40,0 4	2,4 bulan

Berdasarkan perhitungan NPV, PI, dan *Payback Period* yang telah dilakukan, dapat disimpulkan bahwa proyek pipanisasi di FT Cikampek sangat layak secara finansial. Pada analisis sensitivitas, jika penghematan biaya naik atau turun 10%, proyek tetap layak karena NPV tetap positif, PI jauh di atas 1, dan *Payback Period* tetap cepat. Kenaikan atau penurunan biaya *cleaning (maintenance)* juga tidak memberikan dampak signifikan terhadap kelayakan proyek. Selain itu, Sensitivitas terhadap tingkat diskonto menunjukkan semakin tinggi tingkat diskonto, NPV dan PI menurun, tetapi proyek tetap layak.

Tabel 5. Analisis Sensitivitas Kelayakan Proyek PIPANISASI

Parameter	Perubahan	NPV (Rp)	PI	Payback Period
Penghematan Biaya	+10% (Rp 1.554 M/tahun)	12.707.6 31.319	46,8	~ 2,2 bulan
Penghematan Biaya	-10% (Rp 1.272 M/tahun)	10.397.0 82.267	38,47	~ 2,7 bulan
Biaya Maintenance	+10% (Rp 48.655.200 / 2 thn)	11.542.9 56.793	41,61	~ 2,5 bulan
Biaya Maintenance	-10% (Rp 39.808.800 / 2 thn)	11.561.7 56.793	41,68	~ 2,4 bulan
Discount Rate	8%	11.552.3 56.793	42,65	~ 2,4 bulan
Discount Rate	10%	10.717.7 65.036	39,68	~ 2,5 bulan
Discount Rate	12%	9.973.25 9.986	36,96	~ 2,5 bulan

Analisis Hidden Cost

Dalam pelaksanaan suatu proyek infrastruktur seperti pipanisasi, perhitungan kelayakan finansial umumnya difokuskan pada biaya investasi awal dan manfaat operasional yang dapat diukur secara langsung. Namun, dalam praktiknya, terdapat sejumlah biaya tambahan yang sering tidak

terlihat pada tahap perencanaan, namun dapat muncul selama masa operasional proyek. Biaya-biaya tersebut dikenal sebagai *hidden cost* atau biaya tersembunyi. Memperhitungkan *hidden cost* menjadi penting agar analisis kelayakan dapat memberikan gambaran yang lebih komprehensif dan realistis terhadap keseluruhan biaya yang mungkin timbul. Dengan demikian, pengambilan keputusan terkait investasi proyek pipanisasi dapat dilakukan secara lebih matang dan berkelanjutan. Berikut adalah beberapa *hidden cost* yang timbul dalam proyek pipanisasi di Fuel Terminal Cikampek.

Analisis *Hidden Cost*

Dalam pelaksanaan suatu proyek infrastruktur seperti pipanisasi, perhitungan kelayakan finansial umumnya difokuskan pada biaya investasi awal dan manfaat operasional yang dapat diukur secara langsung. Namun, dalam praktiknya, terdapat sejumlah biaya tambahan yang sering tidak terlihat pada tahap perencanaan, namun dapat muncul selama masa operasional proyek. Biaya-biaya tersebut dikenal sebagai *hidden cost* atau biaya tersembunyi. Memperhitungkan *hidden cost* menjadi penting agar analisis kelayakan dapat memberikan gambaran yang lebih komprehensif dan realistis terhadap keseluruhan biaya yang mungkin timbul. Dengan demikian, pengambilan keputusan terkait investasi proyek pipanisasi dapat dilakukan secara lebih matang dan berkelanjutan. Berikut adalah beberapa *hidden cost* yang timbul dalam proyek pipanisasi di Fuel Terminal Cikampek.

Tabel 6. *Hidden Cost*

No	<i>Hidden Cost</i>	Frekuensi	Estimasi Biaya per Tahun (Rp)	Keterangan
1	Biaya Pengecatan Pipa (<i>Maintenance</i>)	Setiap 2 Tahun	44.232.000	Biaya pengecatan jalur pipa di area yang dilakukan modifikasi
2	Biaya Konsumsi Listrik pada Kegiatan Penerimaan di FT Cikampek	Bulanan	Diabaikan	Biaya tambahan konsumsi listrik untuk kegiatan pemompaan produk Pertadex menjadi beban terminal <i>supply point</i> (FT Balongan)
3	Biaya Konsumsi Listrik pada Kegiatan Penyaluran di FT Cikampek	Bulanan	Diabaikan	Sebelum dan sesudah pipanisasi, tidak mempengaruhi/ menambah konsumsi daya listrik pada kegiatan penyaluran produk Pertadex di FT Cikampek (volume penyaluran sama).
4	Biaya Inspeksi Jalur Pipa (<i>Maintenance Strategy</i>)	Setiap 3 Tahun	Diabaikan	Tidak menambah lingkup atau <i>scoop</i> kontrak jasa inspeksi jalur pipa
5	Biaya <i>Emergency Response</i> dan Pelatihan	Tahunan	Diabaikan	Tidak menambah lingkup atau <i>scoop</i> biaya <i>emergency response</i> dan pelatihan
6	Biaya Perbaikan Minor / Kebocoran Kecil	Tahunan	65.995.000	RKAP 2025 pada alokasi anggaran <i>facility maintenance</i> jalur penerimaan produk Pertadex di FT Cikampek
7	Biaya Asuransi	Tahunan	Diabaikan	Tidak menambah lingkup atau <i>scoop</i> kontrak asuransi

Analisis Emisi Pipanisasi

Tabel 7. Dasar Perhitungan Emisi

Keterangan	Mobil Tangki	Pipanisasi
Jarak distribusi	192 km	125 km
Konsumsi BBM per MT per trip	0,4 liter/km	-
Jumlah trip per hari	15 trip	-
Hari operasional per tahun	330 hari	330 hari
Faktor Emisi Solar	2,68 kg CO ₂ /liter	-
Konsumsi Energi Pipa	-	0,0145 kWh/kl per km
Faktor Emisi Listrik PLN	-	0,85 kg CO ₂ /kWh

- Perhitungan Emisi Transportasi Darat (Mobil Tanki)

$$\text{Konsumsi BBM} = \text{Konsumsi BBM per MT per trip} \times \text{Jarak distribusi} \times \text{Hari operasional per tahun} \quad (5)$$

$$\text{Emisi CO}_2 = \text{Konsumsi BBM per tahun} \times \text{Faktor Emisi Solar} \quad (6)$$

- Perhitungan Emisi Pipanisasi

$$\text{Konsumsi Energi} = \text{Konsumsi Energi Pipa} \times \text{Jarak distribusi} \times \text{Volume Distribusi} \quad (7)$$

$$\text{Konsumsi Energi} = \text{Konsumsi Energi Listrik per hari} \times \text{Hari operasional per tahun} \quad (8)$$

$$\text{Emisi CO}_2 = \text{Konsumsi Energi Pipa per tahun} \times \text{Faktor Emisi Listrik PLN} \quad (9)$$

Berdasarkan hasil perhitungan emisi CO₂ pada mobil tanki dan pipanisasi yang telah dilakukan, didapatkan hasil sebagai berikut.

Tabel 8. Perbandingan Tingkat Emisi

Moda Transportasi	Emisi CO ₂ per Tahun (ton)
Mobil Tangki	1.019
Pipanisasi	152,52
Pengurangan Emisi	866
Efisiensi Emisi (%)	85,03%

5. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian mengenai dampak penerapan pipanisasi terhadap distribusi Pertamina Dex di Fuel Terminal Cikampek, maka dapat disimpulkan sebagai berikut:

- 1) Penerapan sistem pipanisasi di Fuel Terminal Cikampek terbukti memberikan kontribusi positif dalam upaya penurunan emisi karbon dioksida (CO₂) dari aktivitas distribusi BBM. Berdasarkan hasil analisis, emisi CO₂ residual setelah pipanisasi tercatat sebesar 4.973.280 kg, dengan capaian reduksi emisi sebesar 69.077,50 kg. Angka ini menunjukkan bahwa sistem pipanisasi mampu menekan sebagian beban emisi yang sebelumnya dihasilkan oleh moda transportasi darat berbahan bakar fosil, seperti mobil tangki. Hasil ini menunjukkan adanya efektivitas sistem pipanisasi dalam mengurangi emisi langsung dari kegiatan logistik distribusi BBM.
- 2) Dari sisi biaya distribusi, penggunaan truk tangki untuk menyalurkan Pertamina Dex sebelumnya memerlukan rata-rata biaya Rp 1.250/liter, termasuk bahan bakar, tenaga kerja, dan perawatan armada. Setelah sistem pipanisasi diimplementasikan, biaya distribusi turun menjadi Rp 720/liter, atau terjadi penghematan sebesar Rp 530/liter (sekitar 42,4% efisiensi biaya). Ini menunjukkan

bahwa pipanisasi tidak hanya ramah lingkungan, tetapi juga lebih ekonomis dalam jangka panjang.

6. UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih kami ucapkan kepada Bapak Syahwin A. Saleh beserta seluruh tim di Fuel Terminal Cikampek dari PT Pertamina Regional JBB yang telah bersedia meluangkan waktu, berkoordinasi, serta memberikan data dan informasi yang sangat berharga sehingga mendukung kelancaran dan penyelesaian dilakukannya penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- (2025). *Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Intergovernmental Panel on Climate Change.
- Aly, S. H. (2015). *Emisi Transportasi*. Jakarta: Niaga Swadaya.
- Gattorna, J. d. (1996). *Managing the Supply Chain: A Strategic Perspective*. London: Macmillan Press.
- Holling C, S. D. (1995). Biodiversity and the functioning of ecosystems: An ecological synthesis. *Biodiversity Loss: Economic and Ecological Issues*, 44-83.
- Ilyas, M. (2004). MENGATASI EMISI MELALUI PERENCANAAN SISTEM TRANSPORTASI PERKOTAAN DAN KEBIJAKAN PENGENDALIANNYA. *Pengantar ke Falsafah Sains (PPS702)*.
- Intergovernmental Panel on Climate Change. (2025). *Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. IPCC.
- Intergovernmental Panel on Climate Change. (2026). *IPCC guidelines for national greenhouse gas inventories*. IPCC.
- International Energy Agency. (2021). *World energy outlook 2021*. International Energy Agency.
- Jass, M., & Fitri, M. (2018). PERENCANAAN AWAL JARINGAN PIPANISASI AIR

BAKU SECARA GRAVITASI (STUDI KASUS: PENGAMBILAN AIR DARI SUB DAERAH ALIRAN SUNGAI KRUENG INONG UNTUK KEPERLUAN PERUSAHAAN DAERAH AIR MINUM TIRTA DAROY). *JURNAL TEKNIK SIPIL*, 105-116.

Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral. (2021). *Handbook of energy and economic statistics of Indonesia 2021*. Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral.

Lee, S. &. (2019). Comparison of Pipeline and Tanker Transport for Bulk Liquids. *Energy Sources, Part A: Recovery, Utilization, and Environmental Effects*, 41(11),1442-1451.

Stolka, O. S., & Kubicka, A. O. (2019). Green logistics and circular economy. *Transportation Research Procedia*, 481-479.

Suryanto, M. H. (2016). *SISTEM OPERASIONAL MANAJEMEN DISTRIBUSI*. Jakarta: Penerbit PT Grasindo, Anggota IKAPI.

Yang, K. (2005). *Design for Six Sigma for Service*. New York: McGraw-Hill.

Zhang, Y., Liu, H., & Sun, X. (2020). Pipeline transportation of refined oil products and its carbon emission reduction potential: A comparative study with road transport. *Energy Policy*, 137, 111–122.