

TUGAS AKHIR
ANALISIS JEJAK KARBON PENGIRIMAN
***FORKLIFT* DARI MANUFAKTUR MENUJU PT X**
MELALUI MODA TRANSPORTASI LAUT

**Diajukan Kepada Universitas Islam Indonesia Yogyakarta Untuk Memenuhi
Persyaratan Memperoleh Derajat Sarjana (S1) Teknik Lingkungan**



TIARA YAYANG CHAIRUNNISA

20513034

PROGRAM STUDI TEKNIK LINGKUNGAN
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA YOGYAKARTA
2024

TUGAS AKHIR
ANALISIS JEJAK KARBON PENGIRIMAN
***FORKLIFT* DARI MANUFAKTUR MENUJU PT X**
MELALUI MODA TRANSPORTASI LAUT

Diajukan Kepada Universitas Islam Indonesia Yogyakarta Untuk Memenuhi
Persyaratan Memperoleh Derajat Sarjana (S1) Teknik Lingkungan



TIARA YAYANG CHAIRUNNISA
20513034

Disetujui,

Dosen Pembimbing:



Noviani Ima Wantoputri, S.T., M.T.

NIK. 195130102

Tanggal: 21 Agustus 2024

Mengetahui,*

Ketua Prodi Teknik Lingkungan FTSP UII



Anv Juliani, S.T., M.Sc.(Res.Eng.).Ph.D

NIK. 045130401

Tanggal: 23/8-24

HALAMAN PENGESAHAN*

**ANALISIS JEJAK KARBON PENGIRIMAN
FORKLIFT DARI MANUFAKTUR MENUJU PT X
MELALUI MODA TRANSPORTASI LAUT**

Telah diterima dan disahkan oleh Tim Penguji

Hari : Kamis

Tanggal : 22 Agustus 2024

Disusun Oleh:

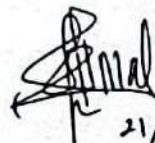
**TIARA YAYANG CHAIRUNNISA
20513034**

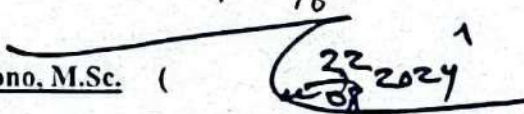
Tim Penguji :

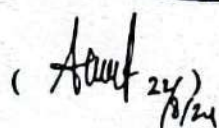
Noviani Ima Wantoputri, S.T., M.T.

Prof. Dr.-Ing. Ir. Widodo Brontowiyono, M.Sc.

Ana Uswatun Hasanah, S.Si., M.T.


21/8 24


22 2024


24/8/24

PERNYATAAN

Dengan ini saya menyatakan bahwa:

1. Karya tulis ini adalah asli dan belum pernah diajukan untuk mendapatkan gelar akademik apapun, baik di Universitas Islam Indonesia maupun di perguruan tinggi lainnya.
2. Karya tulis ini adalah merupakan gagasan, rumusan dan penelitian saya sendiri, tanpa bantuan pihak lain kecuali arahan Dosen Pembimbing.
3. Dalam karya tulis ini tidak terdapat karya atau pendapat orang lain, kecuali secara tertulis dengan jelas dicantumkan sebagai acuan dalam naskah dengan disebutkan nama penulis dan dicantumkan dalam daftar pustaka.
4. Program *software* komputer yang digunakan dalam penelitian ini sepenuhnya menjadi tanggungjawab saya, bukan tanggungjawab Universitas Islam Indonesia. (*apabila menggunakan software khusus*)
5. Pernyataan ini saya buat dengan sesungguhnya dan apabila di kemudian hari terdapat penyimpangan dan ketidakbenaran dalam pernyataan ini, maka saya bersedia menerima sanksi akademik dengan pencabutan gelar yang sudah diperoleh, serta sanksi lainnya sesuai dengan norma yang berlaku di perguruan tinggi.

Yogyakarta, 20 Agustus 2024

Yang membuat pernyataan,



Tiara Yayang Chairunnisa

NIM: 20513034

PRAKATA

Puji syukur Allah Subhana Wa Ta'ala atas segala kasih sayang serta rahmat-Nya yang selalu diberikan sehingga penulis dapat menyelesaikan tugas akhir dengan judul “Analisis Jejak Karbon Pengiriman *Forklift* dari Manufaktur Menuju PT X melalui Moda Transportasi Laut” ini tepat pada waktunya. Tugas akhir ini merupakan syarat kelulusan untuk memperoleh gelar sarjana program studi Teknik Lingkungan.

Penulis menyadari bahwa tugas akhir ini tidak dapat terselesaikan tanpa adanya bantuan, dukungan, dan bimbingan dari berbagai pihak. Untuk itu, penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada:

1. Keluarga penulis (Ayahanda Edy Kiswar, Mama Eni Dewi Kurniawati, Abang Ega Dentarsa, Angah Iman Ferisendy, Kakak Indah Kristiana, dan Aruni Daneen Ramadhina) atas dukungan penuh dan do'a yang diberikan.
2. Ibu Noviani Ima Wantoputri, S.T., M.T. selaku dosen pembimbing penulis atas dukungan dan arahannya yang diberikan kepada penulis dalam menyelesaikan tugas akhir ini.
3. Prof. Dr.-Ing. Ir. Widodo Brontowiyono, M.Sc. dan Ibu Ana Uswatun Hasanah, S.Si., M.T. selaku penguji I dan II dalam tugas akhir penulis yang telah memberikan evaluasi dan masukan yang mendukung agar penulis dapat menyelesaikan tugas akhir ini dengan baik.
4. Bapak Pendi Setyawan dan Mas Naufal Raihan Riandi selaku mentor yang senantiasa memberikan arahan, dukungan, dan ilmu kepada penulis.
5. Bapak dan Ibu dosen program studi Teknik Lingkungan Universitas Islam Indonesia yang sudah memberikan begitu banyak ilmu yang bermanfaat selama perkuliahan.

6. Bude Yanti dan Pakde Maryono yang senantiasa memberikan semangat kepada penulis.
7. Teman-teman *internship Sustainability CIMB Niaga*, Shakila dan Simon, serta para mentor penulis yang selalu memberikan dukungan, keceriaan serta pembelajaran mengenai *Carbon*.
8. Rekan TCI CIMB Niaga *batch 6*, Mirra, Acik, Ary, Nesya, Riri, dan Mas Wicky yang menjadi tempat berkeluh kesah, semangat, serta keceriaan kepada penulis.
9. Teman-teman *tribe batch 6*, Rafii, Bli Hendra, dan Adilah, yang selalu memberikan dukungan keceriaan kepada penulis.
10. Vitan, Agnes, Ilyas, dan Alif, yang memberikan dukungan, afirmasi positif dan semangat kepada penulis.
11. Teman-teman Teknik Lingkungan UII Angkatan 2020 yang telah memberikan momen yang menyenangkan selama perkuliahan
12. Penulis sendiri yang sudah berjuang sampai di posisi ini dan selalu percaya akan kompetensi diri yang dimiliki.

Penulis menyadari bahwa tugas akhir yang penulis tulis jauh dari kata sempurna dan masih banyak kekurangan. Oleh karena itu, penulis mengharapkan kritik dan saran yang membangun sebagai evaluasi dan perbaikan penulis kedepannya. Penulis berharap bahwa tugas akhir ini dapat diterima dan memberikan dampak yang positif berupa manfaat kepada penulis maupun pembaca. Terima Kasih.

Yogyakarta,zz 2024

Penulis

ABSTRAK

Sektor transportasi menjadi salah satu penyumbang emisi gas rumah kaca (GRK) yang signifikan di dunia. Dalam konteks di Indonesia, kebutuhan transportasi barang antar negara semakin meningkat seiring dengan globalisasi dan perdagangan internasional. Penelitian ini bertujuan untuk menghitung besaran jejak karbon dari aktivitas transportasi pengiriman barang menggunakan *vessel* dari tiga negara berbeda ke Pelabuhan Tanjung Priok, Jakarta dan satu negara ke Pelabuhan Patimban, Subang, Indonesia selama periode Juli - Desember 2023. Negara-negara tersebut meliputi Jepang, Swedia, China, dan Amerika Serikat. Perhitungan jejak karbon ini dilakukan dengan metode *GHG Protocol Scope 3* Kategori 4: *Transportation Upstream & Distribution* dan mengacu pada nilai faktor emisi yang diberikan oleh DEFRA. Hasil penelitian menunjukkan bahwa rerata emisi karbon dari pengiriman barang masing-masing negara adalah sebagai berikut: Jepang menghasilkan 3.639,04 kg CO_2e /ton-km, Swedia 4.265,83 kg CO_2e /ton-km, China 8.956,98 kg CO_2e /ton-km, dan Amerika Serikat 2.736,16 kg CO_2e /ton-km. Faktor yang mempengaruhi secara signifikan dan bersifat kuat terhadap besaran jejak karbon adalah jarak tempuh dan beban muatan, sementara frekuensi pengiriman memiliki hubungan signifikan tetapi bersifat lemah. Hasil uji korelasi heteroskedastisitas dengan menggunakan *scatterplot* tidak menunjukkan adanya gejala heteroskedastisitas yang terjadi antar variabel.

Kata Kunci: Emisi GRK, *GHG Protocol*, Jejak Karbon, Transportasi Laut.

ABSTRACT

The transportation sector is one of the significant contributors to greenhouse gas (GHG) emissions in the world. In the context of Indonesia, the need for transportation of goods between countries is increasing along with globalization and international trade. This study aims to calculate the amount of carbon footprint from the transportation activities of shipping goods using vessels from three different countries to Tanjung Priok Port, Jakarta and one country to Patimban Port, Subang, Indonesia during the period July - December 2023. These countries include Japan, Sweden, China and the United States. The carbon footprint calculation was conducted using the GHG Protocol Scope 3 Category 4: Transportation Upstream & Distribution method and refers to the emission factor values provided by DEFRA. The results show that the average carbon emissions from shipping goods for each country are as follows: Japan generated 3.639,04 kg CO₂e/ton-km, Sweden 4.265,83 kg CO₂e/ton-km, China 8.956,98 kg CO₂e/ton-km, and the United States 2.736,16 kg CO₂e/ton-km. The factors that have a significant and strong influence on the carbon footprint are distance traveled and load, while shipping frequency has a significant but weak relationship. The results of the heteroscedasticity correlation test using the scatterplot did not show any symptoms of heteroscedasticity between variables.

Keyword: Carbon Footprint, GHG Emissions, GHG Protocol, Sea Transportation.

DAFTAR ISI

HALAMAN PENGESAHAN*	iii
PERNYATAAN	iv
PRAKATA	v
ABSTRAK	vii
ABSTRACT	viii
DAFTAR ISI	ix
DAFTAR GAMBAR	xi
DAFTAR TABEL	xiii
DAFTAR LAMPIRAN	xiv
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Tujuan Penelitian	4
1.4 Manfaat Penelitian	4
1.4.1 Akademisi	4
1.4.2 Perusahaan	4
1.4.3 Pemangku Kepentingan Terkait	5
1.5 Ruang Lingkup	5
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	6
2.1 Gas Rumah Kaca	6
2.1.1 Definisi Gas Rumah Kaca	6
2.1.2 Sumber Emisi GRK	8
2.2 Pemanasan Global	11
2.2.1 Definisi Pemanasan Global	11
2.2.2 Definisi <i>Global Warming Potential</i> (GWP)	13
2.3 Jejak Karbon	14
2.3.1 Definisi Jejak Karbon	14
2.3.2 Jenis-jenis Jejak Karbon	16
2.4 Jejak Karbon Pengiriman Barang via Laut	19
2.5 Perhitungan dan Kalkulator Jejak Karbon	21
2.5.1 <i>Intergovernmental Panel on Climate Change</i> (IPCC)	21
2.5.2 <i>Green House Gas Protocol</i>	22
2.5.3 <i>World Resource Institute</i> (WRI) Indonesia	23
2.5.4 Kalkulator Karbon: <i>CarbonCare</i>	24

2.6	Meta Analisis Terdahulu.....	25
BAB III	METODE PENELITIAN.....	32
3.1	Waktu dan Lokasi.....	32
3.2	Prosedur Analisis Data	32
3.3	Batasan Penelitian	36
3.3.1	Lingkup Jalur Penelitian.....	36
3.3.2	Pemilihan Objek Penelitian	36
3.4	Variabel Penelitian	36
3.5	Data Penelitian	37
3.6	Metode Sampling Data Penelitian.....	38
3.6.1	Teknik Sampling.....	38
3.6.2	Pengumpulan Data Primer	39
3.6.3	Pengumpulan Data Sekunder	39
3.6.4	Kuesioner Penelitian	39
3.7	Metode Perhitungan Jejak Karbon	40
3.8	Analisis Data	43
3.8.1	Analisis Statistik Deskriptif	43
3.8.2	Analisis Uji Normalitas	44
3.8.3	Analisis Uji Korelasi	44
3.8.4	Analisis Uji Hetroskedastisitas.....	46
BAB IV	HASIL PENELITIAN DAN ANALISIS DATA	49
4.1	Pengambilan Sampel Responden	49
4.1.1	Jarak Tempuh.....	53
4.1.2	Beban Muatan	53
4.2	Hasil Perhitungan Jejak Karbon Proses Pengiriman <i>Forklift</i> dari Manufaktur menuju PT X melalui Moda Transportasi Laut.....	54
4.2.1	Rerata Jejak Karbon Pengiriman <i>Forklift</i>	55
4.3	Faktor-Faktor yang Memengaruhi Jejak Karbon Pengiriman <i>Forklift</i>	66
BAB V	KESIMPULAN DAN SARAN.....	69
5.1	Kesimpulan	69
5.2	Saran.....	70
	DAFTAR PUSTAKA.....	71
	RIWAYAT HIDUP.....	95

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1. Jenis-jenis dan Persentase Gas Rumah Kaca.....	6
Gambar 2.2. Persentase Gas Rumah Kaca secara Global dari Berbagai Sektor ..	8
Gambar 2.3. Perubahan Suhu Global Dan Model Respon pada Emisi Antropogenik	12
Gambar 2.4. Persentase Perbandingan Emisi GRK Tahun 2022 dengan Tahun 1990, 2005, dan 2021	15
Gambar 2.5. Jenis <i>Scope</i> pada Jejak Karbon	17
Gambar 2.6. Kalkulator Karbon <i>CarbonCare</i>	24
Gambar 3.1. Diagram Alir Penelitian	33
Gambar 3.2. Lingkupan Penelitian	36
Gambar 3.3. Perhitungan Emisi Logistik pada GHG Protocol.....	42
Gambar 3.4. Anatomi dari <i>ScatterPlot</i>	47
Gambar 3.5. Contoh dari <i>ScatterPlot</i> dan Korelasinya	47
Gambar 4.1. Dokumentasi dengan Responden.....	50
Gambar 4.2 Jarak Tempuh masing-masing Negara Pengiriman <i>Forklift</i>	53
Gambar 4.3. Beban Muatan per masing-masing Negara.....	54
Gambar 4.4. Hasil Perhitungan Jejak Karbon Pengiriman <i>Forklift</i> yang diteliti	56
Gambar 4.5. Rerata Jejak Karbon Enam Bulan Terakhir (Juli-Desember 2023)	57
Gambar 4.6. Hubungan Beban Muatan dengan Jejak Karbon Pengiriman <i>Forklift</i> dari Jepang	59
Gambar 4.7. Hubungan Beban Muatan dengan Jejak Karbon Pengiriman <i>Forklift</i> dari Swedia.....	59
Gambar 4.8. Hubungan Beban Muatan dengan Jejak Karbon Pengiriman <i>Forklift</i> dari China	60
Gambar 4.9. Hubungan Beban Muatan dengan Jejak Karbon Pengiriman <i>Forklift</i> dari Amerika Serikat	60

Gambar 4.10. Hubungan Beban terhadap Keseluruhan Jejak Karbon Pengiriman <i>Forklift</i>	65
--	----

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1. Nilai GWP pada GRK.....	13
Tabel 2.2. Besaran Volume Emisi GRK di Indonesia Tahun 2022.....	16
Tabel 2.3. Daftar Kerangka Kerja Perhitungan Emisi <i>CO2</i>	20
Tabel 2.4. Meta Analisis Terdahulu yang Berkaitan dengan Analisis Transportasi Pengiriman Barang via Laut.....	25
Tabel 3.1. Kerangka Penelitian Berdasarkan Tujuan Penelitian.....	34
Tabel 3.2. Variabel pada Penelitian.....	37
Tabel 3.3. Data Primer	37
Tabel 3.4. Kuesioner Penelitian	39
Tabel 3.5 Emission Factor DEFRA	43
Tabel 3.6. Penjelasan Hubungan Korelasi dengan Interval Nilai Koefisien Korelasi	45
Tabel 4.1 Hasil Uji Korelasi terhadap Hasil Jejak Karbon pada Keseluruhan Pengiriman <i>Forklift</i>	67
Tabel 4.2. Pengiriman Jejak Karbon dari Jepang (Bulan Juli)	55
Tabel 4.3. Pengiriman Jejak Karbon dari tiap Negara (Juli-Desmber 2023).....	56
Tabel 4.4. Data Pengiriman <i>Forklift</i> Juli – Desember 2021	62

DAFTAR LAMPIRAN

LAMPIRAN I: DOKUMENTASI WAWANCARA.....	75
LAMPIRAN II: JARAK PENGIRIMAN <i>FORKLIFT</i>.....	77
LAMPIRAN III: KETERANGAN SETIAP JENIS <i>VESSEL</i>.....	78
LAMPIRAN IV: DATA PENGIRIMAN <i>FORKLIFT</i> JULI-DESEMBER 2023	83
LAMPIRAN V: HASIL PERHITUNGAN JEJAK KARBON (DISTANCE BASED).....	86
Lampiran V (A) : Perhitungan Jejak Karbon dari Jepang.....	86
Lampiran V (B) : Perhitungan Jejak Karbon dari Swedia	88
Lampiran V (C) : Perhitungan Jejak Karbon dari China.....	89
Lampiran V (D) : Perhitungan Jejak Karbon dari Amerika Serikat.....	91
Lampiran V (E) : Hasil Perhitungan Jejak Karbon Tiap Negara.....	92
LAMPIRAN VI UJI STATISTIK.....	93
Lampiran VI (A): Input data dari pengiriman <i>forklift</i> pada SPSS	93
Lampiran VI (B): Uji Normalitas (Kalmogrov-Smirnov).....	94
Lampiran VI (C): Uji Korelasi <i>Spearman</i>	94
Lampiran VI (D): Hasil <i>Scatterplot</i>	94

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Salah satu isu lingkungan yang mendesak karena dampaknya terhadap kehidupan manusia adalah perubahan iklim. Menurut Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan Republik Indonesia, perubahan iklim merupakan fenomena yang terjadi akibat aktivitas manusia, baik secara langsung maupun tidak langsung, yang mengakibatkan perubahan komposisi atmosfer secara global serta variabilitas iklim alami dalam periode waktu tertentu yang dapat dibandingkan (Kementerian Lingkungan Hidup, 2020).

Pemanasan global merupakan isu yang sedang gencar diperjuangkan dan digaungkan di seluruh dunia. Berdasarkan *Intergovernmental Panel on Climate Change* (IPCC, 2023), perubahan iklim memiliki konsekuensi signifikan yang meluas terhadap berbagai aspek kehidupan manusia. Dalam konteks ini, perubahan iklim merujuk pada perubahan pola cuaca berlangsung dalam jangka panjang. Hal tersebut secara langsung memengaruhi iklim di tingkat lokal, regional, dan global. Selanjutnya, dapat menyebabkan kerusakan ekstensif pada beragam ekosistem. Saat ini, beberapa dampak telah terjadi hampir mencapai titik dimana perubahan tersebut menjadi tidak dapat diubah lagi, seperti dampak perubahan dalam siklus hidrologi (IPCC, 2023). Dampak dari perubahan iklim ini menunjukkan peningkatan risiko kerusakan setiap tahunnya. NASA telah mengumpulkan beberapa statistik perubahan iklim yang mengkhawatirkan. Selama dua abad terakhir, tercatat bahwa suhu global meningkat rata-rata sebesar 2,12°F (1,18°C). Selain itu, antara tahun 1993 dan 2019, terjadi pencairan es di *Greenland* sebanyak 279 miliar ton dan 148 miliar ton di Antartika (Palmetto, 2023). Gas Rumah Kaca adalah gas yang terdapat di atmosfer dan terbagi menjadi dua jenis, yaitu yang

terbentuk secara alami dan yang dihasilkan oleh aktivitas manusia atau antropogenik (ESDM, 2023).

Pemanasan global juga merupakan kejadian yang berkaitan erat dengan meningkatnya suhu global dari tahun ke tahun karena terjadinya efek rumah kaca, seperti metana (CH_4), nitrogen oksida (N_2O), sulfurheksaflorida (SF_6), perflorokarbon (PFC_s), hidrofluorokarbon ($HCFC_s$), dan karbon dioksida (CO_2). Fenomena tersebut mengakibatkan radiasi inframerah tidak dapat terpantul ke luar atmosfer karena terhalangi oleh akumulasi gas-gas tersebut. Hal itu mengakibatkan kenaikan pada suhu bumi (Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan, 2018).

Salah satu cara untuk melakukan mitigasi terhadap fenomena pemanasan global dengan mengetahui jejak karbon dari aktivitas yang dilakukan. Untuk itu perlunya menghitung jejak karbon. Perhitungan jejak karbon mencakup berbagai sektor, seperti; pertanian, perubahan tata guna lahan, pengelolaan sampah, energi (termasuk industri, transportasi, pembangkit listrik, dan pembakaran bahan bakar), serta sektor lainnya (Rini, 2023). Sektor transportasi merupakan penyumbang signifikan emisi gas rumah kaca, menyumbang sekitar 23% dari total emisi sebesar 600 juta ton CO_2 -eq di Indonesia. Emisi gas rumah kaca dari sektor transportasi diperkirakan akan terus meningkat sekitar 53% pada tahun 2030, dan akan terus meningkat dua kali lipat pada periode 2030-2060. Salah satunya alat transportasi laut menjadi penyumbang terbesar emisi gas rumah kaca (GRK) di sektor transportasi, dengan pangsa lebih dari 90% (IESR, 2023).

Saat ini, Indonesia masih bergantung pada sektor industri yang memiliki kontribusi signifikan terhadap emisi GRK. Hal itu dapat dilihat antara tahun 2015 dan 2022 tingkat emisi GRK dari sektor industri di Indonesia berkisar antara 8% hingga 20% dari total emisi GRK nasional. Emisi GRK dari sektor industri utamanya berasal dari penggunaan energi, limbah industri, dan proses produksi serta penggunaan produk dalam industri (Kemenperin, 2023). Kemudian, pada sektor industri, termasuk penggunaan dan distribusi *forklift*, juga berkontribusi signifikan terhadap emisi GRK. Salah satu alasan *forklift* dipilih untuk diteliti adalah karena penjualan *forklift* di perusahaan sering dilakukan dan produk ini laris dijual, menunjukkan permintaan pasar yang tinggi. Menurut sebuah analisis dari

produk ini laris dijual, menunjukkan permintaan pasar yang tinggi. Transportasi laut merupakan salah satu sektor utama dalam pengiriman barang global dan berkontribusi sekitar 2-3% terhadap total emisi CO₂e global (Smith et al., 2015; Olmer et al., 2017). *Forklift* listrik, misalnya, memiliki jejak karbon yang signifikan sepanjang siklus hidupnya, dengan sebagian besar emisi berasal dari penggunaan energi listrik (Scope 2) yang mencapai lebih dari 90% bahkan dengan nol emisi tailpipe (Scope 1). Emisi dari manufaktur *forklift* dan baterai (Scope 3) diperkirakan mencakup sekitar 9% dari total jejak karbonnya.

Berdasarkan paparan di atas dipandang perlu untuk melakukan penelitian tentang: proses pengiriman *forklift*, jejak karbon yang dihasilkan dari aktivitas pengiriman *forklift*, dan faktor-faktor penentu yang mempengaruhi jumlah emisi karbon. Hal itu, diharapkan dapat memberikan pemahaman dan kesadaran yang lebih mendalam tentang dampak lingkungan yang ditimbulkan dari kegiatan tersebut. Khususnya dalam mengidentifikasi dan mengukur kontribusi emisi gas rumah kaca dari pengiriman *forklift* (alat berat). Data yang diperoleh diharapkan dapat menjadi landasan untuk merumuskan strategi pengurangan emisi, seperti menggunakan kendaraan dengan teknologi ramah lingkungan atau melakukan perubahan dalam pola distribusi. Hal tersebut diharapkan dapat membantu mengurangi dampak lingkungan dari pengiriman alat berat, serta mengarah pada pengurangan total emisi GRK yang dihasilkan oleh sektor transportasi secara keseluruhan. Sehingga dapat diantisipasi dampak tersebut dengan mengadopsi langkah-langkah berkelanjutan untuk mengurangi emisi GRK untuk menuju bumi yang lebih sehat dan berkelanjutan.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang di atas, dapat dirumuskan masalah penelitian sebagai berikut:

1. Berapa rata-rata emisi karbon yang dihasilkan pengiriman *forklift* dari dari pelabuhan negara pengirim (manufaktur) ke pelabuhan negara penerima (PT X) ?

2. Bagaimana hubungan antara beban muatan, jarak, dan frekuensi pengiriman terhadap jejak karbon yang dari pelabuhan negara pengirim (manufaktur) ke pelabuhan negara penerima (PT X)?

1.3 Tujuan Penelitian

Berdasarkan latar belakang dan rumusan masalah di atas, tujuan penelitian ini menganalisis tentang:

1. Menganalisis rerata emisi karbon yang dihasilkan pengiriman *forklift* dari pelabuhan negara pengirim (manufaktur) ke pelabuhan negara penerima (PT X).
2. Menganalisis hubungan antara beban muatan, jarak, dan frekuensi pengiriman yang mempengaruhi jumlah emisi karbon pengiriman *forklift* dari pelabuhan negara pengirim (manufaktur) ke pelabuhan negara penerima (PT X).

1.4 Manfaat Penelitian

Penelitian ini bermanfaat untuk:

1.4.1 Akademisi

1. Dapat membuka peluang untuk melakukan penelitian selanjutnya yang lebih mendalam terkait jejak karbon pada pengiriman alat berat dan analisis jejak karbon untuk sektor transportasi secara keseluruhan, serta dapat digunakan untuk pengembangan Ilmu Pengetahuan dan Ilmu Teknologi (IPTEK).
2. Mendukung pengembangan metodologi penelitian analisis yang lebih maju dan tepat dalam mengukur jejak karbon dalam transportasi.
3. Menyediakan pemahaman yang lebih luas mengenai hubungan antara rantai pengiriman alat berat dan emisi gas rumah kaca (jejak karbon).

1.4.2 Perusahaan

1. Mendorong perusahaan agar lebih efisien dalam pengoperasionalan rantai pasok

2. Memberikan wawasan dan kepedulian terkait dampak jejak karbon

1.4.3 Pemangku Kepentingan Terkait

1. Penelitian ini akan menjadi pijakan untuk penyusunan kebijakan terkait jejak karbon dan regulasi transportasi yang lebih spesifik.
2. Mendukung pengembangan teknologi inovatif yang lebih efisien dan ramah lingkungan dalam sektor transportasi.
3. Memberikan kontribusi pada pengembangan strategi yang lebih berkelanjutan terkait pengiriman alat berat.

1.5 Ruang Lingkup

Ruang lingkup penelitian ini sebagai berikut:

1. Penelitian dilakukan dengan menganalisis jejak karbon yang dihasilkan dari pengiriman *forklift* dari pelabuhan negara pengirim (manufaktur) ke pelabuhan negara penerima (PT X).
2. Perhitungan jejak karbon pada penelitian akan didasari oleh aktivitas pengiriman *forklift* dari pelabuhan negara pengirim (manufaktur) ke pelabuhan negara penerima (PT X).
3. Pengolahan data yang didapatkan dari hasil wawancara (data primer) akan diolah dengan perhitungan metode dari *GHG Protocol*.

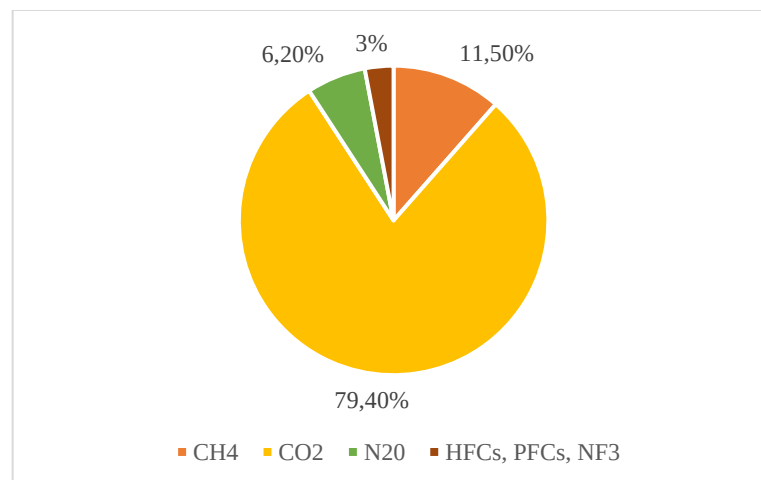
BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Gas Rumah Kaca

2.1.1 Definisi Gas Rumah Kaca

Gas Rumah Kaca (GRK) adalah gas-gas di atmosfer bumi yang berperan sebagai penangkap panas dari sinar matahari. Pada siang hari, sinar matahari menembus atmosfer dan menghangatkan bumi, namun pada malam hari, panas yang dipancarkan dari bumi akan terjebak di atmosfer oleh GRK, menjaga suhu bumi tetap hangat dengan rata-rata sekitar 14°C . Fungsi GRK ini mirip dengan selimut yang mempertahankan suhu bumi agar tidak terlalu rendah, menjaga keberlangsungan kehidupan di bumi. Namun, sejak dimulainya revolusi industri, aktivitas manusia telah menyebabkan peningkatan besar dalam jumlah GRK yang dilepaskan ke atmosfer. Hal ini mengakibatkan peningkatan efek rumah kaca secara berlebihan, yang menyebabkan suhu global meningkat selama 30 tahun terakhir, menjadi penyebab utama pemanasan global dan perubahan iklim (National Grid, 2023).



Gambar 2.1. Jenis-jenis dan Persentase Gas Rumah Kaca
(Sumber : EPA, 2023)

Gambar 2.1. menampilkan proporsi komposisi dari setiap jenis GRK berdasarkan total emisi di Amerika Serikat pada tahun 2021, yakni sebesar 6,340 Juta metrik ton setara CO_2 . Menurut EPA (2023), komponen-komponen gas dalam GRK terdiri atas:

a) Karbon Dioksida (CO_2)

CO_2 adalah GRK dengan konsentrasi tertinggi di atmosfer, yang berasal dari berbagai sumber seperti pembakaran bahan bakar fosil, proses biologis dalam tumbuhan, pembuangan limbah padat, dan beberapa reaksi kimia.

b) Metana (CH_4)

Metana (CH_4) adalah GRK yang keberadaannya dipengaruhi oleh produksi dan transportasi gas alam, minyak, dan batu bara. Namun, sebagian besar metana berasal dari sektor peternakan dan pertanian, penggunaan lahan, dan proses dekomposisi sampah organik.

c) Nitrous Oksida (N_2O)

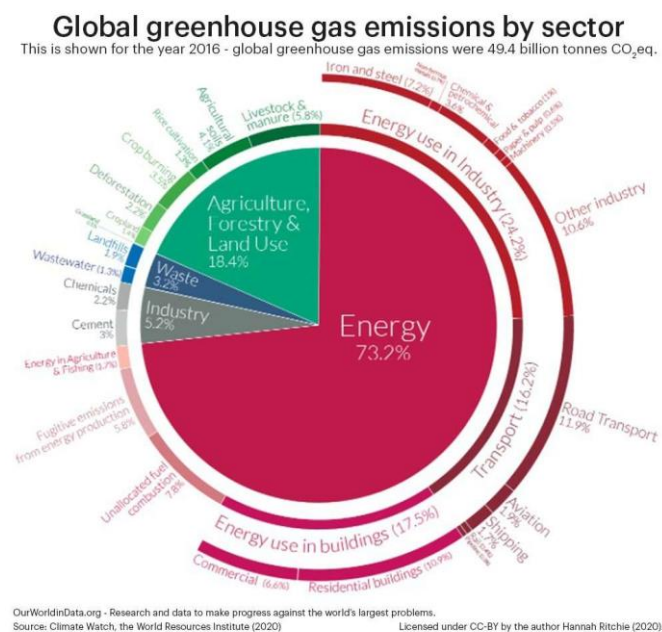
Salah satu GRK yang umumnya dihasilkan oleh aktivitas pertanian, industri, dan penggunaan lahan. Dalam konteks industri, N_2O biasanya dilepaskan melalui proses pembakaran bahan bakar fosil dan pengolahan air limbah

d) Klorofluorokarbon-13 (CFC-13), Hidrofluorokarbon (HFC), Hidroklorofluorokarbon (HCFC), Perfluorokarbon (PFC), dan Sulfur heksafluorokarbon (SF_6)

Jenis GRK ini merupakan jenis yang kuat dan sintetis, yang umumnya dihasilkan oleh proses rumah tangga, komersial, dan industri. Meskipun gas-gas ini hanya dilepaskan dalam jumlah kecil, tetapi memiliki kemampuan yang kuat untuk menangkap panas bumi, sehingga nilai *Global Warming Potential* (GWP) mereka relatif tinggi dibandingkan dengan CO_2 .

2.1.2 Sumber Emisi GRK

Diketahui bahwa aktivitas manusia telah menjadi salah satu faktor utama dalam peningkatan konsentrasi GRK dalam atmosfer selama 150 tahun terakhir. Secara umum, emisi GRK berasal dari berbagai sektor. Sektor energi berkontribusi sekitar tiga perempat dari total emisi GRK global, sedangkan sektor pertanian atau penggunaan lahan menyumbang sekitar seperlima dari total emisi GRK, dan diperkirakan akan meningkat hingga seperempat jika mempertimbangkan sistem pangan secara keseluruhan, termasuk pengolahan, pengemasan, transportasi, dan penjualan. Sementara itu, sekitar 8% sisanya berasal dari sektor industri dan limbah. (Ritchie, 2020).



Gambar 2.2. Persentase Gas Rumah Kaca secara Global dari Berbagai Sektor

Sumber: (World Resources Institute, 2020)

Penjelasan mengenai kontribusi sektor-sektor yang menyumbang GRK, yakni:

- Sektor energi (listrik, panas, dan transportasi) total emisi yang dikeluarkan 73,2%

Disektor industri, terdapat emisi sebesar 24,2%, dengan komposisi berbagai kegiatan seperti produksi besi dan baja (7,2%), pembuatan pupuk,

obat-obatan, serta zat pendingin, ekstraksi minyak gas (3,6%), dan lainnya. Selain itu, sektor transportasi juga memberikan kontribusi signifikan sebesar 16,2%, yang meliputi sejumlah kecil listrik untuk emisi tidak langsung dan hasil pembakaran bahan bakar fosil untuk emisi langsung (Ritchie, 2020).

Emisi yang berasal dari pembakaran bensin dan solar pada transportasi jalan raya seperti mobil, truk, sepeda motor, dan bus, menyumbang sekitar 11,9% dari total emisi transportasi sebesar 16,2%. Sekitar 60% dari emisi transportasi jalan raya ini berasal dari perjalanan penumpang, sedangkan 40% lainnya berasal dari angkutan barang (Ritchie, 2020). Sementara itu, dalam aktivitas penerbangan, emisi yang dihasilkan menyumbang sebesar 1,9%, dimana sekitar 81% berasal dari perjalanan penumpang dan 19% dari angkutan barang. Pengiriman yang biasanya menggunakan kapal memberikan kontribusi emisi sebesar 1,7%, sedangkan perjalanan kereta api penumpang dan barang menyumbang sebesar 0,4%. Pengangkutan melalui jalur pipa juga memberikan kontribusi sekitar 0,3% terhadap emisi GRK. Penggunaan jalur pipa untuk mengangkut bahan bakar dan komoditas seperti minyak, gas, dan air seringkali membutuhkan energi yang menyebabkan terjadinya emisi. Selain itu, kebocoran pada jalur pipa juga dapat menyebabkan keluarnya emisi metana secara langsung ke atmosfer (Ritchie, 2020).

Aspek energi juga mencakup penggunaan energi di bangunan, yang berkontribusi terhadap emisi sebesar 17,5% dari total emisi GRK. Penggunaan energi di bangunan terbagi antara bangunan tempat tinggal yang rata-rata menghasilkan emisi sebesar 10,9%, dan bangunan komersial dengan emisi sebesar 6,6%. Di sektor energi, terdapat juga pemakaian energi yang tidak teralokasikan, seperti listrik dan panas dari biomassa, yang menyumbang sekitar 7,8% dari total emisi sektor energi. Selain itu, terdapat juga emisi fugitive, seperti kebocoran metana selama ekstraksi atau transportasi minyak gas, baik secara sengaja maupun tidak, yang menyumbang sekitar 3,9% dari total emisi. Selain itu, terdapat juga emisi fugitive dari penambangan batu bara, yang menyumbang sekitar 1,9% dari total emisi. Besarnya emisi dari

sektor energi juga didukung oleh penggunaan mesin di bidang pertanian dan perikanan, yang berkontribusi sekitar 1,7% (Ritchie, 2020).

b) Sektor Industri Langsung (5,2%)

Pada bidang ini, industri semen dapat menghasilkan sekitar 3% dari total emisi dalam sektor industri. Karbon dioksida dihasilkan sebagai produk samping dari proses kimia yang terlibat dalam produksi clinker, salah satu bahan pembentuk semen. Dalam proses ini, batu kapur (CaCO_3) diubah menjadi kapur (CaO), menghasilkan CO_2 sebagai produk sampingan. Di samping itu, industri bahan kimia & petrokimia juga berkontribusi sekitar 2,2% terhadap emisi tersebut. Gas rumah kaca dihasilkan sebagai hasil samping dari proses kimia, misalnya, CO_2 dapat dihasilkan selama produksi amonia dalam proses pemurnian air, produk pembersih, atau sebagai zat pendingin (Ritchie, 2020).

c) Sektor Limbah (3,2%)

Bahan organik dan residu dari tumbuhan, hewan, dan manusia dalam air limbah akan mengalami dekomposisi, menghasilkan metana dan dinitrogen oksida. Proses ini menyebabkan sektor limbah berperan dalam kontribusi emisi GRK di atmosfer (Ritchie, 2020).

d) Sektor Pertanian, Kehutanan, dan Tata Guna Lahan (18,4%)

Dalam aspek ini, terdapat beberapa komponen yang dapat dibagi, seperti pada padang rumput yang dapat berkontribusi sebesar 0,1% terhadap emisi GRK. Fenomena ini terjadi karena degradasi padang rumput menyebabkan tanah kehilangan karbon yang kemudian diubah menjadi karbon dioksida. Namun, sebaliknya, saat terjadi restorasi padang rumput, karbon akan terserap kembali ke dalam rumput, sehingga emisi yang dihasilkan di sini mengacu pada keseimbangan bersih antara kehilangan karbon dan akumulasi karbon dari biomassa.

Dari lahan pertanian, kontribusi terhadap emisi GRK mencapai 1,4%, yang dipengaruhi oleh praktik pengelolaan lahan yang bisa menyebabkan

kehilangan atau penyerapan karbon ke dalam tanah atau biomassa. Selanjutnya, kegiatan deforestasi memberikan kontribusi signifikan terhadap emisi GRK sebesar 2,2%, karena mengakibatkan hilangnya simpanan karbon dari hutan dan perubahan simpanan karbon di tanah hutan. Selain itu, pembakaran sisa-sisa pertanian atau tumbuhan juga menjadi penyumbang emisi GRK sebesar 3,5% dari total emisi pada aspek pertanian, kehutanan, dan tata guna lahan, dengan melepaskan karbon dioksida, dinitrogen oksida, dan metana. Budidaya padi juga berkontribusi sebesar 1,3% terhadap emisi GRK karena produksi metana dari sawah yang tergenang air. Penerapan pupuk nitrogen sintetis dalam tanah pertanian menyebabkan emisi GRK sekitar 4,1%, terutama melalui pelepasan nitrous oksida. Terakhir, kegiatan peternakan dan pemupukan kandang menyumbang sebesar 5,8% terhadap emisi GRK karena fermentasi enterik pada hewan menghasilkan metana sebagai produk sampingan. Namun, emisi dari peternakan hanya mencakup emisi langsung dari kegiatan ternak dan tidak termasuk emisi yang berasal dari penggunaan lahan untuk padang rumput atau pakan ternak (Ritchie, 2020).

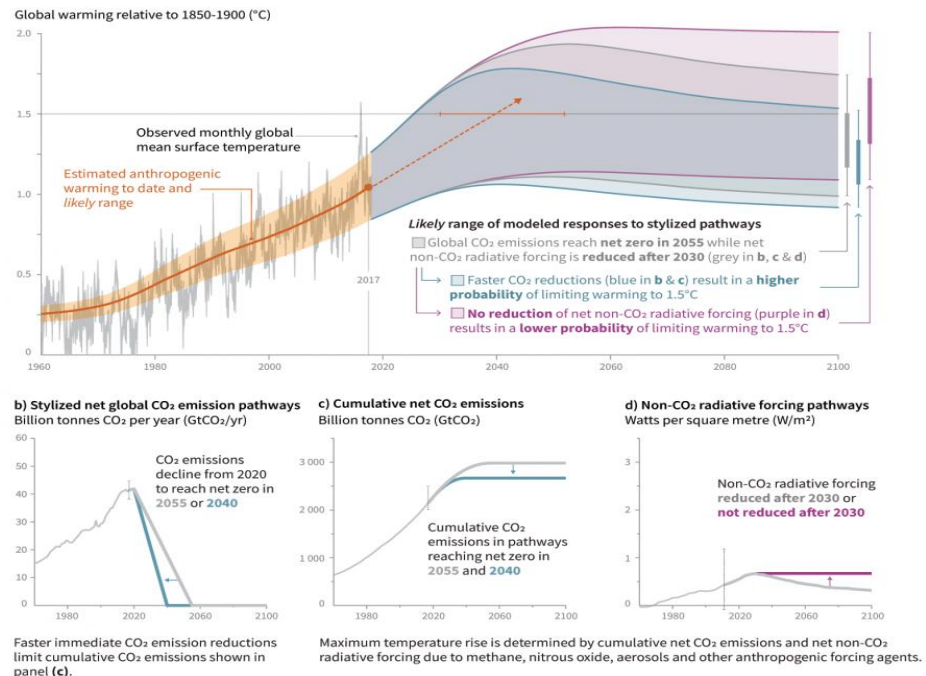
2.2 Pemanasan Global

2.2.1 Definisi Pemanasan Global

Pemanasan global dapat didefinisikan sebagai fenomena di mana suhu udara rata-rata di permukaan tanah dan laut meningkat selama periode sekitar 30 tahun di seluruh dunia (IPCC, 2018). Aktivitas manusia berkontribusi pada peningkatan suhu sekitar 1 derajat Celsius di atas tingkat pra-industri, dan pemanasan global diperkirakan akan terus meningkat sekitar 1,5 derajat Celsius pada periode 2030 hingga 2052, dengan potensi peningkatan lebih lanjut jika kecepatan kenaikan suhu tidak dikendalikan, tervisualisasikan dalam gambar berikut ini:

Cumulative emissions of CO₂ and future non-CO₂ radiative forcing determine the probability of limiting warming to 1.5°C

a) Observed global temperature change and modeled responses to stylized anthropogenic emission and forcing pathways



Gambar 2.3. Perubahan Suhu Global Dan Model Respon pada Emisi Antropogenik

Sumber: (IPCC, 2018)

Dapat dilihat pada **Gambar 2.3** di atas, menjelaskan bahwa jalur berwarna jingga mewakili suhu permukaan global rata-rata yang diamati setiap bulan, menunjukkan bagaimana suhu global telah berubah sepanjang waktu dari tahun 1850 hingga sekarang. Sementara itu, jalur berwarna abu-abu mewakili skenario di mana emisi CO₂ global mencapai nol bersih pada tahun 2055 dan pemaksaan radiatif non-CO₂ berkurang setelah tahun 2030. Area berbayer abu-abu menunjukkan kisaran peningkatan suhu yang mungkin berdasarkan skenario ini. Dengan kata lain, jalur berwarna abu-abu menunjukkan jika emisi CO₂ dapat dikurangi menjadi nol bersih pada tahun 2055 dan juga mengurangi penggunaan radiatif non-CO₂ setelah tahun 2030, kemungkinan dapat membatasi peningkatan suhu global (IPCC, 2018).

2.2.2 Definisi *Global Warming Potential* (GWP)

Global Warming Potential (GWP) adalah metrik yang dikembangkan untuk memungkinkan perbandingan dampak pemanasan global dari berbagai gas (EPA,2023). Secara spesifik, GWP adalah ukuran berapa banyak energi yang akan diserap oleh emisi satu ton gas selama periode waktu tertentu, relatif terhadap emisi satu ton karbon dioksida (CO_2) (EPA,2023). GRK memanaskan bumi dengan menyerap energi dan memperlambat laju di mana energi melarikan diri ke luar angkasa; mereka bertindak seperti selimut yang mengisolasi Bumi (EPA,2023). Dua cara utama di mana gas-gas ini berbeda satu sama lain adalah kemampuan mereka untuk menyerap energi (efisiensi radiatif mereka), dan berapa lama mereka tinggal di atmosfer (dikenal juga sebagai “umur”) (EPA,2023).

GWP yang lebih besar berarti gas tersebut memanaskan Bumi lebih banyak dibandingkan CO_2 selama periode waktu tersebut (EPA,2023). Periode waktu yang biasanya digunakan untuk GWP adalah 100 tahun (EPA,2023). GWP memberikan satuan pengukuran yang sama, yang memungkinkan analis untuk menjumlahkan perkiraan emisi dari berbagai gas (misalnya, untuk mengkompilasi inventaris GHG nasional), dan memungkinkan pembuat kebijakan untuk membandingkan peluang pengurangan emisi di berbagai sektor dan gas (EPA,2023). CO_2 , menurut definisi, memiliki GWP 1 terlepas dari periode waktu yang digunakan, karena gas ini digunakan sebagai referensi (EPA,2023). Emisi CO_2 menyebabkan peningkatan konsentrasi atmosfer CO_2 yang akan bertahan ribuan tahun (EPA,2023).

Tabel 2.1. Nilai GWP pada GRK

Gas Rumah Kaca	<i>Global Warming Potential</i> (GWP-CO_{2e} dalam 100 tahun)
Karbon Dioksida (CO_2)	1
Metana (CH_4)	28
Nitrous Oksida (N_2O)	265
Klorofluorokarbon-13 (CFC-13)	13.900

Sumber: (NGVAMERICA, 2018)

Karbon dioksida (CO_2) adalah polutan utama yang menjadi patokan karena memiliki periode akumulasi yang lama di atmosfer. Meski sebagian besar

CO_2 bisa diserap oleh lautan dalam beberapa abad, sisa CO_2 bisa bertahan di atmosfer hingga ribuan tahun. Di sisi lain, gas metana (CH_4) memiliki GWP sebesar 28 selama 100 tahun. CH_4 mampu menyerap energi lebih banyak dibandingkan CO_2 . Metana dikategorikan sebagai short-lived climate pollutant (SLCP), yang meski memiliki umur pendek, memiliki potensi yang lebih besar dalam menangkap panas. Selanjutnya, Nitrous Oksida (N_2O) memiliki GWP yang 273 kali lebih besar dibandingkan dengan CO_2 dalam jangka waktu 100 tahun. Terakhir, CFC-13 memiliki GWP yang sangat tinggi, yaitu 13.900. Bukan hanya CFC, tetapi juga Hidrofluorokarbon (HFC), Hidroklorofluorokarbon (HCFC), Perfluorokarbon (PFC), dan Sulfur heksafluorokarbon (SF_6) dikenal memiliki GWP tinggi karena gas-gas tersebut mampu menangkap lebih banyak panas dibandingkan dengan kemampuan CO_2 dalam menangkap energi panas (NGVAMERICA, 2018).

2.3 Jejak Karbon

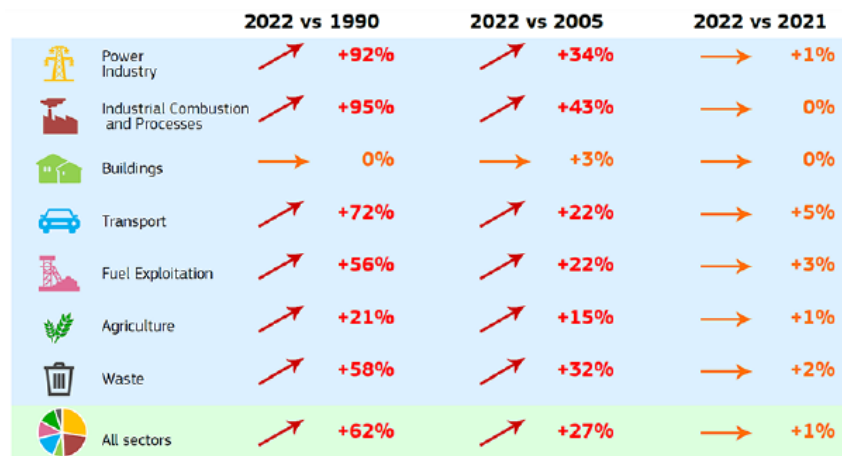
2.3.1 Definisi Jejak Karbon

Jejak karbon merujuk pada total emisi GRK, baik yang dihasilkan secara langsung maupun tidak langsung, yang berasal dari aktivitas individu, kelompok, fenomena, atau produk (University of Michigan, 2022). Emisi ini, yang dihasilkan dari setiap tahap siklus hidup produk atau layanan, diakumulasikan untuk membentuk jejak karbon. Dalam setiap siklus produksi atau layanan, berbagai jenis gas rumah kaca seperti CO_2 , CH_4 , dan N_2O akan dihasilkan. Untuk mengukur dampak yang dihasilkan oleh masing-masing gas ini, mereka dihitung menggunakan GWP. GWP setiap gas akan menghasilkan jejak karbon dalam satuan massa yang setara dengan CO_2 (University of Michigan, 2022). Maka, jejak karbon dapat didefinisikan sebagai inventarisasi emisi pada berbagai tingkat atau tier (Matthews, Hendrickson, & Weber, 2008).

Pada tahun 2021, diketahui bahwa penduduk Amerika Utara rata-rata menghasilkan jejak karbon yang 11 kali lebih besar dibandingkan dengan penduduk Afrika. Negara-negara yang berada di 1% teratas dalam hal produksi emisi global masing-masing memiliki jejak karbon lebih dari 50 ton CO_2 pada

tahun 2021, yang berarti lebih dari 1000 kali lebih besar dibandingkan dengan 1% negara dengan emisi terendah. Saat ini, rata-rata jejak karbon global dalam konteks energi adalah sebesar 4,7 ton CO_2 per individu. Nilai ini setara dengan melakukan dua kali perjalanan pulang pergi antara Singapura dan New York dengan pesawat (IEA.org, 2023).

Terdapat penurunan sebesar 3,7% dalam emisi GRK pada tahun 2020 dibandingkan dengan tahun sebelumnya. Namun, pada tahun 2022, emisi GRK global meningkat kembali sebesar 53,8 gigaton CO_2e , yang merupakan peningkatan sebesar 2,3% dari tahun 2019 dan 1,4% dari tahun 2021. Pembakaran bahan bakar fosil menyumbang sebanyak 71,6% dari total emisi GRK global, diikuti oleh CH_4 sebesar 21%, dan N_2O sebesar 4,8%, sementara gas F menyumbang 2,6%. Data dari Uni Eropa menunjukkan bahwa sektor transportasi, khususnya, mengalami peningkatan sebesar sekitar 5% pada tahun 2022. Berikut merupakan gambar perbandingan kenaikan atau keadaan stagnan emisi GRK di berbagai aspek



Gambar 2.4. Persentase Perbandingan Emisi GRK Tahun 2022 dengan Tahun 1990, 2005, dan 2021

Sumber: (EDGAR, 2023)

Pada **Gambar 2.4** dapat terlihat bahwa, 1990 hingga 2022, terjadi peningkatan signifikan dalam emisi gas rumah kaca (GRK) di berbagai sektor. Namun, peningkatan tersebut tampak melambat atau stagnan dari tahun 2005 hingga 2022 dan sangat minim dari tahun 2021 hingga 2022. Industri energi,

misalnya, mengalami peningkatan emisi sebesar 92% dari tahun 1990 hingga 2022, 34% dari tahun 2005 hingga 2022, dan hanya 1% dari tahun 2021 hingga 2022. Sementara itu, pembakaran industri dan proses mengalami peningkatan emisi sebesar 95% dari tahun 1990 hingga 2022, 43% dari tahun 2005 hingga 2022, dan tidak ada perubahan dari tahun 2021 hingga 2022. Sektor bangunan tidak mengalami perubahan emisi dari tahun 1990 hingga 2005, dan hanya terjadi peningkatan sebesar 3% dari tahun 2021 hingga 2022. Di sisi lain, transportasi mengalami peningkatan emisi sebesar 72% dari tahun 1990 hingga 2022, 22% dari tahun 2005 hingga 2022, dan 5% dari tahun 2021 hingga 2022.

Di Indonesia, total emisi gas rumah kaca telah mencapai 1,24 Gt CO_2eq , yang setara dengan sekitar 2,3% dari total emisi gas rumah kaca secara global (EDGAR, 2023). Sebagaimana disebutkan sebelumnya, tahun 2022 mencatat rekor tertinggi emisi CO_2 sejak tahun 1900. Sumber utama emisi GRK di Indonesia berasal dari kegiatan bahan bakar fosil, seperti yang terperinci dalam volume emisi GRK di Indonesia pada tahun 2022. Rincian volume emisi GRK di Indonesia tahun 2022, **Tabel 2.2** berikut ini:

Tabel 2.2. Besaran Volume Emisi GRK di Indonesia Tahun 2022

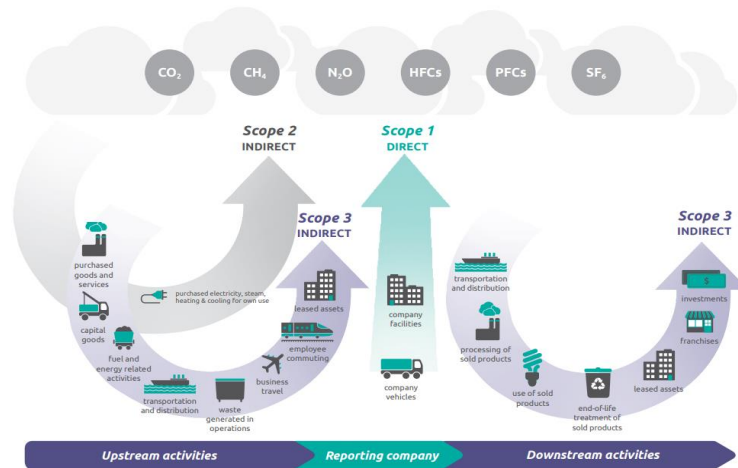
Kegiatan	Besaran Emisi GRK (Gt CO_2eq)
Penggunaan bahan bakar fosil	0,27
Pembangkit Listrik	0,25
Agraria	0,19
Pembakaran Industri	0,18
Transportasi	0,15
Limbah	0,1
Proses Industri	0,07

Sumber: (EDGAR, 2023)

2.3.2 Jenis-jenis Jejak Karbon

Ketika membahas jejak karbon, hal ini erat kaitannya dengan *GHG Protocol* atau *Green House Gases Protocol*. *GHG Protocol* sendiri merupakan kerangka kerja yang digunakan untuk mengukur dan melaporkan emisi gas rumah kaca GRK. *GHG Protocol* dibuat oleh *World Resources Institute* (WRI) dan *World Business Council for Sustainable Development* (WBCSD) dan merupakan standar

internasional untuk menghitung emisi GRK. Pada umumnya jejak karbon sendiri dapat dibedakan berdasarkan lingkupannya, yakni *scope* 1, 2, dan 3. Penjelasannya sebagai berikut:



Gambar 2.5. Jenis *Scope* pada Jejak Karbon

Sumber: (WRI/WBCSD Corporate Value Chain (Scope 3) Accounting and Reporting Standard, 2023)

a) *Scope 1*: Emisi Langsung

Scope 1 sendiri merupakan emisi GHG langsung, emisi GHG yang terjadi dari sumber atau dikendalikan oleh perusahaan itu sendiri, contohnya emisi dari pembakaran, tungku, kendaraan yang dimiliki oleh perusahaan; emisi dari produksi kimia pada peralatan yang dimiliki dan dikendalikan oleh perusahaan. Sumbernya dapat berasal dari pembakaran bahan bakar secara langsung pada stasioner untuk menghasilkan listrik, uap, atau panas, seperti gas alam, bahan bakar minyak, propane, dan diesel. Selain itu, emisi GRK dari mesin pendingin juga termasuk dalam lingkup 1 akibat kebocoran dan pemeliharaan mesin tersebut. Meskipun kebocoran gas pendingin ini menyumbang emisi GRK dalam jumlah kecil, namun memiliki dampak yang signifikan karena nilai GWP-nya yang tinggi. Di samping itu, emisi GRK lingkup 1 juga dapat berasal dari berbagai kendaraan, mesin, dan peralatan yang digunakan oleh perusahaan, yang menghasilkan emisi saat menggunakan berbagai jenis bahan bakar selama operasinya (Innovation Center for U.S Dairy, 2019).

b) *Scope 2: Emisi Langsung*

Merupakan emisi GHG secara tidak langsung yang berasal dari listrik, listrik yang dimaksud yakni dari pembangkit listrik yang dibeli atau dipakai oleh perusahaan. Jenis energi yang termasuk dalam *scope 2* emisi GRK (GHG Protocol, 2015) meliputi:

- 1) Listrik: digunakan secara luas oleh infrastruktur utilitas untuk menggerakkan mesin, penerangan, dan kendaraan listrik.
- 2) Uap: dihasilkan dari proses pemanasan air dan umumnya digunakan dalam kegiatan industri.
- 3) Panas: digunakan dalam bangunan komersial untuk pengaturan suhu ruangan dan pemanasan air. Industri juga membutuhkan panas untuk beberapa proses, baik dari listrik maupun sumber non-listrik seperti panas matahari atau proses pembakaran termal seperti pada boiler atau pembangkit listrik termal.
- 4) Pendinginan: seperti panas, pendinginan juga sering menggunakan energi listrik untuk distribusi udara atau air yang diperlukan untuk pendinginan.

c) *Scope 3: Emisi Tidak Langsung*

Scope 3 sendiri merupakan emisi GHG tidak langsung lainnya, yang memuat kategori pelaporan operasional yang memungkinkan untuk perlakuan semua emisi tidak langsung lainnya. *Scope 3* sendiri juga mencakup konsekuensi dari kegiatan perusahaan, tetapi terjadi dari sumber yang tidak memiliki atau dikendalikan oleh perusahaan. Emisi hulu merujuk pada emisi GRK tidak langsung yang terkait dengan barang dan jasa yang diperoleh atau dibeli oleh perusahaan. Sementara itu, emisi hilir merujuk pada emisi GRK tidak langsung yang terkait dengan barang atau jasa yang dijual oleh perusahaan. Emisi hulu terjadi ketika barang atau jasa diterima oleh perusahaan pelapor, sedangkan emisi hilir terjadi saat barang atau jasa tersebut dijual kepada entitas lainnya. Terdapat 15 kategori yang masuk ke dalam *scope 3* Emisi GRK ini. Pada *scope 3* emisi GRK upstream terdapat 8 kategori yakni, kategori 1 (barang dan jasa

yang dibeli), kategori 2 (barang modal), kategori 3 (kegiatan yang berhubungan dengan bahan bakar atau energi, namun tidak termasuk ke dalam *scope* 1 dan *scope* 2), kategori 4 (transportasi hulu), kategori 5 (limbah yang dihasilkan dari operasi), kategori 6 (perjalanan bisnis), kategori 7 (perjalanan karyawan), dan kategori 8 (aset sewaan dari hulu). Lalu, untuk *scope* 3 emisi GRK downstream meliputi kategori 9 (transportasi dan distribusi hilir), kategori 10 (pengolahan produk yang dijual), kategori 11 (penggunaan produk yang dijual), kategori 12 (perlakuan akhir masa pakai produk yang dijual), kategori 13 (aset sewaan hilir), kategori 14 (waralaba), dan kategori 15 (investasi) (GHG Protocol, 2015).

2.4 Jejak Karbon Pengiriman Barang via Laut

Industri transportasi maritim berkontribusi secara signifikan terhadap emisi karbon dioksida (CO₂) global. Pada tahun 2022, pengiriman internasional sendiri menyumbang hampir 3% dari total emisi gas rumah kaca dunia. Sektor transportasi, termasuk pengiriman laut, bertanggung jawab atas sekitar 20,2% dari total emisi CO₂ dunia, menjadikannya kontributor terbesar kedua terhadap polusi karbon global. Sektor transportasi maritim terutama mengandalkan bahan bakar fosil seperti minyak bahan bakar laut dan *heavy fuel oil* (HFO). Pembakaran HFO menghasilkan gas berbahaya, termasuk CO₂, CH₄, dan N₂O, yang berkontribusi pada perubahan iklim.

Selanjutnya, kapal juga menghasilkan SO_x, yang berdampak pada lingkungan dan kesehatan. Tingkat emisi bervariasi berdasarkan ukuran kapal, jenis bahan bakar, efisiensi energi, dan jarak tempuh. Untuk mengurangi emisi gas rumah kaca dari pengiriman, *International Maritime Organization* (IMO) telah menetapkan target ambisius, termasuk mencapai nol emisi netto sekitar tahun 2050. Inisiatif melibatkan pemanfaatan energi terbarukan, beralih ke bahan bakar bersih seperti LNG dan hidrogen, mengoptimalkan desain kapal untuk efisiensi, menerapkan slow steaming, menggunakan teknologi untuk optimasi rute, dan menegakkan regulasi seperti *Energy Efficiency Existing Ship Index* (EEXI) dan *Carbon Intensity Indicator* (CII). Kolaborasi di seluruh industri juga didorong.

Menurut Forum Ekonomi Dunia pada tahun 2009, sektor transportasi dan

logistik menyumbang sekitar 5,5% dari total emisi yang dihasilkan oleh aktivitas manusia, yang setara dengan sekitar 2.800 mega-ton per tahun. Selain itu, penelitian oleh Hao, Geng, Li, dkk. pada tahun 2015 menunjukkan bahwa sektor angkutan barang di Tiongkok bertanggung jawab atas sekitar 788 mega-ton emisi, yang merupakan sekitar 8% dari total emisi Gas Rumah Kaca (GRK) nasional pada tahun 2013.

Di Indonesia, penghitungan emisi CO_2 dari sektor transportasi dan logistik masih menjadi sebuah tantangan. Hal ini disebabkan oleh kurangnya penelitian yang dilakukan mengenai penghitungan emisi CO_2 dalam konteks transportasi dan logistik di Asia Tenggara. Meskipun banyak standar perhitungan emisi CO_2 yang tersedia, namun penelitian yang ditujukan secara khusus pada wilayah Asia Tenggara masih terbatas. Salah satu studi yang merinci metodologi perhitungan emisi adalah proyek *Carbon Footprint of Freight Transport* (COFRET) pada tahun 2011, dengan mengevaluasi beberapa kerangka kerja seperti pada **Tabel 2.3** berikut ini:

Tabel 2.3. Daftar Kerangka Kerja Perhitungan Emisi CO_2

No.	Framework	Deskripsi
1.	<i>Bilancarbonate</i>	Mengukur emisi langsung dan tidak langsung
2.	<i>Department for Environment, Food and Rural Affairs (DEFRA)</i>	DEFRA berfokus pada perhitungan emisi GHG untuk aktivitas transportasi pengangkutan.
3.	<i>Deutsche Spedition- und Logistikverband e.V (DSLTV)</i>	DSLTV menggunakan EN 16258:2011 sebagai metode primer
4.	<i>Greenhouse Gas (GHG) Protocol</i>	Tujuan dari metode ini adalah untuk mengembangkan standar dari GHG di berbagai sektor, seperti transportasi dan logistik
5.	<i>Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC)</i>	Panduan ini dikembangkan untuk Inventarisasi Gas Rumah Kaca Nasional.
6.	<i>Network for Transport Measures (NTM)</i>	Tujuan dari pedoman ini adalah untuk mengukur emisi untuk semua moda transportasi.

No.	Framework	Deskripsi
7.	ZichtopCO ₂	Pedoman ini berfokus pada pembuatan perhitungan emisi secara rinci, khususnya untuk sektor logistik.
8.	Gronn godstransport	Gronn Godstransport mempunyai tujuan untuk mengukur aspek lingkungan dari perusahaan angkutan barang.
9.	European Norm (EN) 16258	Metodologi ini menghitung dan mempublikasikan emisi GRK, serta konsumsi energi layanan transportasi
10.	GLEC	GLEC bertujuan untuk mengukur emisi CO ₂ dari sektor logistik dan bertujuan untuk mengembangkan kerangka kerja tunggal yang dapat digunakan di berbagai sektor.

Sumber: (Mubarak & Zainal, 2018)

2.5 Perhitungan dan Kalkulator Jejak Karbon

Secara umum, proses perhitungan emisi gas rumah kaca biasanya mengacu pada metodologi yang dijelaskan dalam panduan IPCC tahun 2006. Metodologi ini melibatkan perkalian antara data aktivitas dengan faktor emisi yang sesuai, sebagai berikut:

$$\text{Emisi GRK} = \text{Activity Data} \times \text{Emission Factor} \quad (\text{Persamaan 1})$$

Data aktivitas adalah informasi yang berkaitan dengan kegiatan yang relevan untuk perhitungan GRK (Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan, 2020). Lembaga yang bertanggung jawab atas Inventarisasi GRK akan mengumpulkan data aktivitas untuk mengidentifikasi jenis kegiatan dan tahun pelaksanaannya, serta melakukan kolaborasi dengan pihak stakeholder lain secara berkelanjutan. Sementara itu, faktor emisi adalah faktor yang mengonversi data aktivitas menjadi data emisi GRK (contohnya, kgCO₂e per liter bahan bakar yang digunakan atau kgCO₂e per kilometer perjalanan) (GHG Protocol, 2015).

2.5.1 Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC)

Perhitungan emisi GRK telah diatur dalam IPCC 2006 yang dilakukan melalui dua pendekatan, yaitu pendekatan referensi yang menggunakan metode

top-down dengan data agregat dari suplai energi primer, dan pendekatan sektoral yang menggunakan metode *bottom-up* dengan data permintaan energi akhir, transformasi energi, dan data terkait fugitive. Tingkat emisi GRK dalam inventarisasi sektor energi (termasuk transportasi) dihitung menggunakan metode tier 1 (dengan menggunakan persamaan dasar dan data aktivitas mayoritas dari sumber data global) dan tier 2 (dengan menggunakan persamaan yang lebih rinci dan berasal dari data nasional/daerah) menurut IPCC 2006, sebagai berikut:

$$\text{Total Emisi (kgCO}_2\text{eq)} = \text{Fuel activity} \times \text{Konversi Energi} \times \text{Emission Factor Activity} \times \text{GWP}$$

(Persamaan 2)

2.5.2 *Green House Gas Protocol*

Green House Gas Protocol atau *GHG Protocol* adalah kerangka kerja global yang komprehensif untuk mengukur dan mengelola emisi gas rumah kaca dalam operasi sektor swasta, publik, rantai pasokan, dan tindakan mitigasi. Dibentuk melalui kemitraan selama 20 tahun antara *World Resources Institute* (WRI), *World Business Council for Sustainable Development* (WBCSD), pemerintah, asosiasi industri, LSM, dan organisasi bisnis lainnya. Pengiriman *forklift* dari pelabuhan negara pengirim (manufaktur) ke pelabuhan negara penerima (PT X) merupakan bagian dari *scope 3* emisi gas rumah kaca, terkategori dalam kategori 4, yaitu emisi hulu transportasi dan distribusi (GHG Protocol, 2023). Adapun perhitungan yang dapat dilakukan adalah

$$\text{Total Emisi (kgCO}_2\text{eq)} = \text{Distance travelled per trip (km)} \times \text{Average weight of good (tonnes/volume)} \times \text{Emission Factor}$$

(Persamaan 3)

Keterangan :

Distance travelled per trip = Jarak perjalanan dalam sekali perjalanan (km)

Average weight of good = Berat rata-rata barang (tonnes/volume)

Emission Factor = koefisien yang menggambarkan laju pelepasan GRK suatu aktivitas ke atmosfer

2.5.3 World Resource Institute (WRI) Indonesia

Secara umum, metode yang digunakan oleh WRI sering kali merupakan adaptasi dari metode perhitungan yang disusun oleh IPCC. Dalam perhitungan yang dilakukan oleh WRI, pendekatan yang digunakan adalah bottom-up, yang dapat diterapkan menggunakan metode berbasis bahan bakar dan berbasis jarak. Metode berbasis jarak hanya melibatkan perkalian jarak perjalanan dengan faktor emisi, sementara untuk metode berbasis bahan bakar, langkah tambahan diperlukan, yaitu mengkonversi jarak perjalanan menjadi konsumsi energi dengan mengalikan faktor ekonomi energinya, sehingga total emisi dapat dihitung dengan mengalikan konsumsi energi tersebut dengan faktor emisi yang sesuai (WRI, 2020). Berikut adalah metode berbasis bahan bakar untuk menghitung emisi GRK dan polutan udara adalah

$$\text{Total Emisi (kgCO}_2\text{eq)} = \sum_{i=1}^N \frac{D_i}{FCF_{ij}} \times \frac{EF_{sk}}{PT_i}$$

(Persamaan 4)

Keterangan:

- i : Jumlah perjalanan (1,2...N)
- D_i : Jarak total untuk ke-i perjalanan
- FCF_{ij} : Faktor penghematan bahan bakar untuk moda transportasi (j) pada perjalanan ke dalam satuan km/energi (liter atau kw-jam)
- EF_{sk} : Faktor emisi berdasarkan jenis bahan bakar (k) dalam kg-emisi/energi (liter atau kw-jam)
- PT_i : Banyaknya orang yang melakukan perjalanan bersama pada perjalanan ke- i

Sedangkan, berikut ini adalah metode berbasis jarak untuk menghitung emisi GRK dan polutan udara yaitu:

$$\text{Total Emisi (kgCO}_{2\text{eq}}) = \sum_{i=1}^N \frac{D_i \times EF_{sj}}{PT_i}$$

(Persamaan 5)

Keterangan:

i : Jumlah perjalanan (1,2...N)

D_i : Jarak total untuk ke-i perjalananEF_{sj} : Faktor emisi berdasarkan moda transportasi (j) dalam kg-emisi/kmPT_i : Banyaknya orang yang melakukan perjalanan bersama pada perjalanan ke- i

2.5.4 Kalkulator Karbon: *CarbonCare*

Salah satu alat kalkulator karbon yang dapat digunakan untuk mengevaluasi emisi gas rumah kaca yang timbul dari proses logistik, termasuk transportasi darat, laut, dan udara, adalah CarbonCare. Perhitungan yang dilakukan oleh CarbonCare mengacu pada standar ISO 14083:2023 yang telah diakui secara internasional, dan pengembangannya melibatkan berbagai mitra, seperti industri, ETH, dan otoritas federal Swiss, dalam kurun waktu sekitar 5 tahun. Alat kalkulator ini mencakup berbagai moda transportasi serta perputaran barang di terminal atau gedung. Dengan adanya kalkulator karbon ini, data mengenai emisi gas rumah kaca yang dihasilkan dari proses pengangkutan dapat dipantau dengan transparan dan dapat digunakan untuk merancang strategi pengurangan emisi yang efektif.



DE | EN | myCarbonCare | News | Contact | About us | Home

CO₂ Calculator Climate Protection Carbon footprint & ESG Products Climate Change

CO₂ Calculator Methodology

CarbonCare methodology for the implementation of ISO 14083:2023

According to ISO, the CO₂e values for the complete transport chain including terminal handling activities are calculated. In addition, cool cargo («cooling») can also be calculated for the entire chain, which also automatically includes refrigerant leaks. The methodology presented here only refers to the free website calculator. The licensees under "BASIC" and "BUSINESS" have far more options for calculation and result determination.

The emissions measured by CarbonCare or partners include empty runs and are determined over a period of one year to compensate for seasonal fluctuations.

Gambar 2.6. Kalkulator Karbon *CarbonCare*

Sumber: (CarbonCare, 2023)

2.6 Meta Analisis Terdahulu

Penelitian mengenai jejak karbon transportasi terkait pengiriman barang sudah dilakukan di berbagai kota dan negara di dunia. Terdapat berbagai studi analisis jejak karbon transportasi pengiriman barang khususnya melalui transportasi laut yang membahas kontribusi transportasi terhadap emisi GRK. Berikut adalah studi atau penelitian terdahulu berupa jurnal-jurnal mengenai analisis jejak karbon transportasi pagan yang digunakan sebagai referensi pada penelitian jejak karbon pengiriman *forklift* dari pelabuhan negara pengirim (manufaktur) ke pelabuhan negara penerima (PT X).

Tabel 2.4. Meta Analisis Terdahulu yang Berkaitan dengan Analisis Transportasi Pengiriman Barang via Laut

No	Nama Peneliti	Tahun Penelitian	Judul Penelitian	Metode Penelitian	Hasil
1	Arya V.P & et al.,	2020	<i>Carbon footprint levels and recommendations for sustainable shipping industry</i>	Metode yang digunakan adalah analisis jejak karbon selama setiap tahap siklus hidup kapal dan menerapkan pendekatan alternatif pada tiga tingkat yang berbeda.	Kesimpulan dari penelitian ini adalah bahwa dengan menerapkan berbagai pendekatan dan modifikasi dalam industri pengiriman, seperti perancangan ulang lambung kapal, optimisasi lambung, kedatangan tepat waktu di pelabuhan, dan penggunaan bahan bakar alternatif seperti hidrogen, metanol, dan LNG, serta sistem propulsi yang berbeda seperti angin, surya,

No	Nama Peneliti	Tahun Penelitian	Judul Penelitian	Metode Penelitian	Hasil
					listrik, dan bahan bakar sel, dapat membantu mengurangi jejak karbon dan meningkatkan efisiensi dalam industri pengiriman. Dengan demikian, praktik-praktik berkelanjutan ini dapat membantu mengurangi dampak lingkungan dari industri pengiriman.
2	Aseel S & et al.,	2021	<i>A model for estimating the carbon footprint of maritime transportation of Liquefied Natural Gas under uncertainty</i>	Metode yang digunakan dalam penelitian ini mencakup pengumpulan data, pengembangan model perhitungan konsumsi bahan bakar kapal, dan estimasi emisi karbon total	Kesimpulan dari penelitian ini adalah bahwa penggunaan LNG sebagai bahan bakar untuk operasi pengiriman LNG dapat signifikan mengurangi emisi karbon dibandingkan dengan jenis bahan bakar lainnya. Penelitian ini menunjukkan bahwa faktor seperti jenis kapal dan jenis bahan bakar memiliki dampak yang signifikan pada emisi karbon. Model matematis yang dikembangkan menggunakan simulasi Monte Carlo menunjukkan bahwa penggunaan LNG sebagai bahan bakar untuk kapal LNG

No	Nama Peneliti	Tahun Penelitian	Judul Penelitian	Metode Penelitian	Hasil
					dapat menghasilkan jejak karbon yang lebih rendah. Rekomendasi dari penelitian ini termasuk mengoptimalkan rencana rute, mempertimbangkan operasi slow steaming, dan mengurangi pembakaran gas <i>boil-off</i> . Penelitian ini juga menyoroti pentingnya praktik berkelanjutan dalam transportasi LNG untuk mengurangi dampak lingkungan. Selain itu, penelitian ini menekankan perlunya akuntansi dan pelaporan emisi yang akurat serta pengembangan alat untuk mengukur dan mengevaluasi jejak karbon kapal yang digunakan dalam pengiriman LNG.
3.	Misra A & et.al.,	2017	<i>GHG emission accounting and mitigation strategies to reduce the carbon</i>	Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah pengembangan inventaris GHG yang	Kesimpulan dari penelitian ini adalah bahwa Port of Chennai memiliki emisi gas rumah kaca yang tinggi, dengan kapal dagang, truk, aktivitas pelabuhan perikanan, dan konsumsi

No	Nama Peneliti	Tahun Penelitian	Judul Penelitian	Metode Penelitian	Hasil
			<i>footprint in conventional port activities – a case of the Port of Chennai</i>	terstruktur untuk mengidentifikasi area di mana perbaikan dapat dilakukan untuk mengurangi emisi GHG, serta mengevaluasi efektivitas langkah-langkah mitigasi dari waktu ke waktu	listrik menjadi kontributor utama. Emisi cakupan 1 (dari diesel, LPG, dan bensin) menyumbang 88,9% dari total emisi, sedangkan emisi cakupan 2 (dari konsumsi listrik) menyumbang 11%. Strategi mitigasi seperti penggunaan pencahayaan energi efisien dan bahan bakar alternatif dapat membantu mengurangi jejak karbon pelabuhan. Memulai strategi pengurangan gas rumah kaca untuk semua aktivitas terkait pelabuhan sangat penting untuk meminimalkan dampak operasi pelabuhan terhadap perubahan iklim.
4	Panagakos, G&et al.,	2019	<i>Monitoring the Carbon Footprint of Dry Bulk Shipping in the EU: An Early Assessment of the MRV Regulation</i>	Metode penelitian ini menggunakan analisis multivariat dengan model efek acak linier. Metode ini dipilih	Penelitian tersebut menyimpulkan bahwa indikator energi efisiensi kapal yang dipublikasikan tidak cukup untuk melakukan benchmarking efisiensi energi karena variasi yang luas. Diperlukan pendekatan yang lebih

No	Nama Peneliti	Tahun Penelitian	Judul Penelitian	Metode Penelitian	Hasil
				<p>untuk memperhitungkan korelasi antara observasi yang berasal dari kapal yang sama. Analisis ini dilakukan dengan menggunakan model efek acak linier dengan intercept acak dan logaritma variabel dependen diestimasi oleh sejumlah variabel independen . Metode ini memungkinkan penulis untuk mengidentifikasi perbedaan persentase dalam indikator yang</p>	<p>komprehensif dalam melakukan benchmarking dan disarankan untuk penelitian lebih lanjut mengenai peran kecepatan dan waktu yang dihabiskan di pelabuhan terhadap indikator efisiensi energi. Selain itu, penelitian ini menyoroti pentingnya mempertimbangkan detail perjalanan spesifik ketika menganalisis efisiensi energi kapal, karena nilai EEOI dapat bervariasi secara signifikan antar perjalanan. Penelitian ini juga menimbulkan kekhawatiran terkait penggunaan nilai indikator rata-rata untuk menggambarkan kapal tertentu. Selain itu, penelitian ini juga menyoroti pengaruh cakupan geografis Regulasi MRV terhadap nilai EEOI yang dilaporkan, serta menunjukkan bahwa perbandingan antara kapal saudara menunjukkan perbedaan yang tidak signifikan</p>

No	Nama Peneliti	Tahun Penelitian	Judul Penelitian	Metode Penelitian	Hasil
				diinduksi oleh perubahan tertentu dalam variabel independen.	dalam nilai indikator. Penelitian ini juga mengangkat kekhawatiran terkait akurasi data MRV yang dilaporkan dan nilai praktis dari nilai indikator rata-rata untuk benchmarking efisiensi energi . Penelitian ini memberikan wawasan berharga tentang dampak Regulasi MRV pada industri pelayaran. Selain itu, penelitian juga mencakup daftar referensi yang komprehensif terkait transportasi maritim hijau, termasuk regulasi, pedoman, metodologi, dan studi tentang pengurangan emisi gas rumah kaca dari kapal, yang memberikan informasi berharga bagi mereka yang tertarik dalam praktik pengiriman yang ramah lingkungan.

Berdasarkan meta analisis terdahulu, telah banyak dilakukan penelitian mengenai analisis jejak karbon dalam berbagai aspek industri pengiriman barang via laut, seperti pada siklus hidup kapal, penggunaan bahan bakar alternatif, dan emisi gas rumah kaca di pelabuhan. Namun, hingga saat ini, belum ada penelitian yang secara spesifik mengkaji jejak karbon dari proses pengiriman *forklift* dari manufaktur menuju perusahaan melalui moda transportasi laut. Oleh karena itu, penelitian ini berfokus pada analisis jejak karbon khusus untuk pengiriman *forklift*, yang diharapkan dapat memberikan kontribusi baru dalam literatur dan memberikan wawasan praktis dalam upaya mengurangi dampak lingkungan dari kegiatan pengiriman tersebut.

BAB III

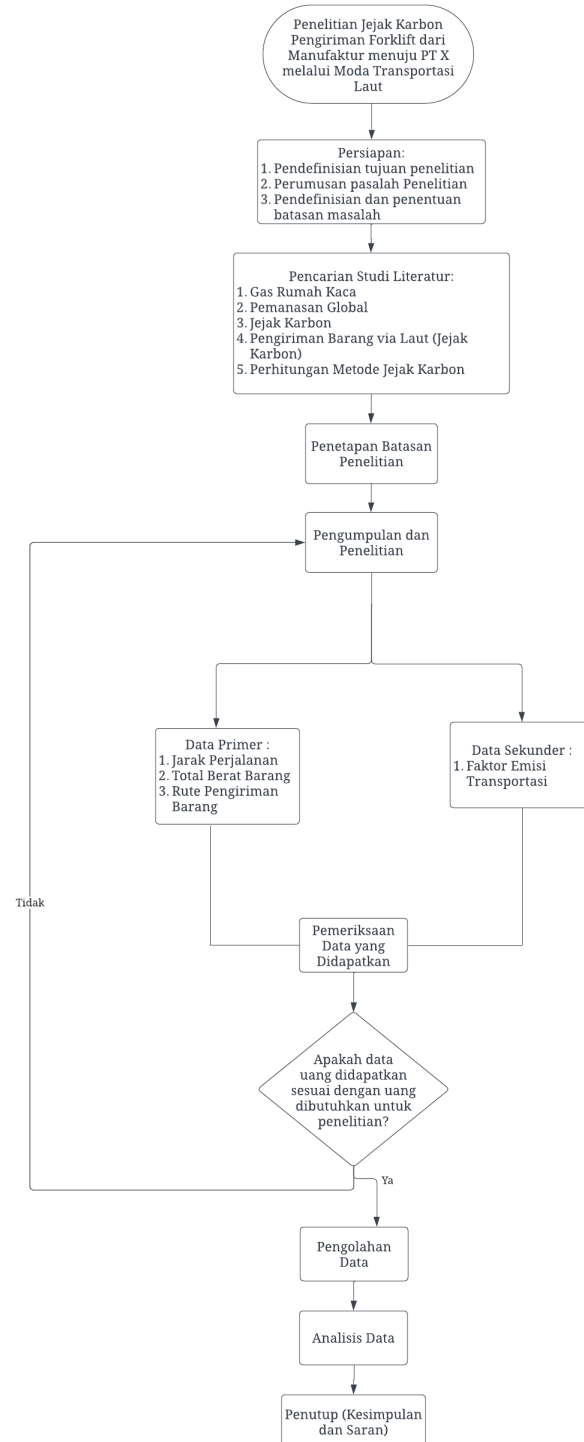
METODE PENELITIAN

3.1 Waktu dan Lokasi

Penelitian ini dilaksanakan selama lima bulan dari Juli – Desember 2023 bulan yang dilaksanakan pada PT X. Penelitian jejak karbon dari transportasi pengiriman *forklift* dari pelabuhan negara pengirim (manufaktur) ke pelabuhan negara penerima (PT X) ini, tentu menggunakan metode penelitian kuantitatif untuk menentukan besaran emisi GRK yang akan dihasilkan. Adapun metode kuantitatif ini merupakan salah satu bentuk metode penelitian dengan menggunakan model matematis dan dilakukan secara sistematis. Pada penelitian laporan ini, penulis menggunakan wawancara untuk mendapatkan informasi terkait data pengangkutan yang memiliki pengaruh pada perhitungan emisi GRK nanti.

3.2 Prosedur Analisis Data

Penelitian yang dilakukan oleh penulis akan didasari pada aktivitas pengiriman *forklift* dari pelabuhan negara pengirim (manufaktur) ke pelabuhan negara penerima (PT X) yang berkontribusi pada peningkatan jejak karbon transportasi pengiriman. Berikut adalah diagram alir kerangka penelitian jejak karbon dari transportasi transportasi pengiriman *forklift* dari pelabuhan negara pengirim (manufaktur) ke pelabuhan negara penerima (PT X).



Gambar 3.1. Diagram Alir Penelitian

Tidak hanya diagram alir penelitian yang seperti diatas, penulis juga membuat kerangka penelitian dengan memetakan tujuan penelitian penulis dengan *input*, proses, dan *output* dari penelitian ini seperti yang terdapat pada **Tabel 3.1** dibawah ini:

Tabel 3.1. Kerangka Penelitian Berdasarkan Tujuan Penelitian

No.	Tujuan Penelitian	Input	Proses	Output
1	Menganalisis jejak karbon yang dihasilkan dari aktivitas pengiriman <i>forklift</i> dari pelabuhan negara pengirim (manufaktur) ke pelabuhan negara penerima (PT X).	<ul style="list-style-type: none"> • Pengumpulan data yang memiliki keterkaitan dengan aktivitas pengangkutan oleh transportasi laut (kapal/<i>vessel</i>) • Pencarian faktor emisi yang tepat untuk kegiatan pengangkutan oleh transportasi laut (kapal/<i>vessel</i>). 	<ul style="list-style-type: none"> • Melakukan perhitungan jejak karbon dari data-data yang diperoleh sesuai dengan inputan metode perhitungan jejak karbon yang digunakan . • Melakukan analisis secara kuantitatif statistik deskriptif terkait hasil perhitungan jejak karbon sehingga memperoleh kesimpulan perhitungan 	Mengetahui estimasi nilai rata-rata jejak karbon yang dihasilkan dari proses pengangkutan oleh transportasi dari aktivitas pengiriman <i>forklift</i> dari pelabuhan negara pengirim (manufaktur) ke pelabuhan negara penerima (PT X).
2	Menganalisis faktor-faktor yang mempengaruhi jejak	<ul style="list-style-type: none"> • Mencari dan mengkaji faktor-faktor yang dapat mempengaruhi besaran 	<ul style="list-style-type: none"> • Melakukan uji hipotesa dengan uji stastitik untuk melihat apakah faktor-faktor relevansi dalam 	Mengetahui faktor-faktor yang dapat mempengaruhi yang dihasilkan oleh

No.	Tujuan Penelitian	Input	Proses	Output
	karbon yang dihasilkan dari aktivitas pengiriman <i>forklift</i> dari pelabuhan negara pengirim (manufaktur) ke pelabuhan negara penerima (PT X).	transportasi dari aktivitas pengiriman <i>forklift</i> dari pelabuhan negara pengirim (manufaktur) ke pelabuhan negara penerima (PT X) sesuai dengan hasil perhitungan jejak karbon yang penulis lakukan.	mempengaruhi besaran jejak karbon pada pengiriman <i>forklift</i> .	transportasi dari aktivitas pengiriman <i>forklift</i> dari pelabuhan negara pengirim (manufaktur) ke pelabuhan negara penerima (PT X) yang dapat dibuktikan melalui hasil uji deskriptif, korelasi, signifikansi dan statistik.

3.3 Batasan Penelitian

3.3.1 Lingkup Jalur Penelitian

Penelitian yang dilakukan memiliki batasan objek ditelitian sebagai berikut:



Gambar 3.2. Lingkup Penelitian

Dari **Gambar 3.2**, dikatakan bahwa batasan penelitian ini dimulai dari lokasi pelabuhan pengirim (manufaktur) yang diteliti, lalu dilakukan proses distribusi dan berakhir di Pelabuhan negara penerima (PT X).

3.3.2 Pemilihan Objek Penelitian

PT X merupakan salah satu *market share forklift* terbesar di Indonesia dan memiliki jaringan distribusi yang luas di seluruh wilayah Indonesia, memungkinkan mereka untuk mencapai pelanggan dari berbagai sektor industri dengan efektif. Selain itu, PT X juga dikenal karena produk *forklift*-nya yang memiliki *advanced safety, management support, high productivity and efficiency*, serta sesuai dengan standar internasional, menjadikannya pilihan utama bagi banyak perusahaan dalam memenuhi kebutuhan *material handling* konsumen. Oleh karena tidak adanya *peak seasons* pada bulan-bulan tertentu, maka penulis menetapkan kondisi atas permintaan pasar yang tinggi pada satu terakhir, Januari 2023 s.d. Januari 2024. Sehingga, objek penelitian dapat dipertanggungjawabkan dengan hipotesis bahwa apabila *demand* permintaan tinggi, maka akan semakin meningkat proses pengangkutan sehingga jejak karbon yang dihasilkan juga meningkat.

3.4 Variabel Penelitian

Variabel Terikat adalah suatu variabel yang menjadi persoalan pokok bagi penulis yaitu objek penelitian dan dipengaruhi oleh adanya variabel bebas (Ulfa, 2021).

Berikut ini variabel yang digunakan untuk penelitian:

Tabel 3.2. Variabel pada Penelitian

Jenis Variabel	Variabel yang Digunakan pada Penelitian
Variabel Bebas	Jarak pengiriman <i>forklift</i> dari pelabuhan negara pengirim (manufaktur) ke pelabuhan negara penerima (PT X).
	Jumlah berat kendaraan selama satu kali perjalanan
	Rute perjalanan pengiriman
Variabel Terikat	Emisi karbon yang dihasilkan

3.5 Data Penelitian

Dalam penelitian ini, untuk memperoleh nilai besaran estimasi jejak karbon yang dihasilkan dari transportasi pengiriman *forklift* dari pelabuhan negara pengirim (manufaktur) ke pelabuhan negara penerima (PT X), dilakukan dengan mengolah data primer dan data sekunder. Data primer akan diperoleh dengan mengolah hasil jawaban para responden melalui wawancara secara langsung kepada karyawan PT X terkait pengiriman *forklift* dari pelabuhan negara pengirim (manufaktur) ke pelabuhan negara penerima (PT X). Berikut data primer yang dibutuhkan dalam penelitian ini.

Tabel 3.3. Data Primer

No.	Jenis Data	Sumber Data
1	Lokasi asal <i>forklift</i> dikirim	Data ini didapatkan dari pertanyaan tempat atau lokasi asal <i>forklift</i> berasal sehingga dapat memetakan rute perjalanan menggunakan <i>ports.com</i> .
2	Homogenitas/heterogenitas beban <i>forklift</i> yang diangkut pada satu kapal/ <i>vessel</i>	Data ini didapatkan dari pertanyaan terkait beban yang dibawa apakah berupa satu jenis <i>forklift</i> ataupun bermacam-macam jenis dalam satu kapal/ <i>vessel</i> dalam satu kali perjalanan. Hal ini ditanyakan untuk membantu dalam menentukan berat

No.	Jenis Data	Sumber Data
		bawaan yang memiliki hubungan dengan jejak karbon yang dihasilkan.
3	Alat Transportasi	Data ini diperoleh dari pertanyaan pada bagian jenis transportasi yang digunakan dalam satu kali perjalanan menuju pelabuhan PT X sehingga dapat diketahui faktor emisi ataupun total beban yang diangkut pada satu kali pengiriman.
4	Frekuensi perjalanan pengiriman	Data ini didapatkan dari bagian pertanyaan terkait frekuensi perjalanan pengiriman yang dilakukan dari manufaktur menuju pelabuhan PT X (kurun enam bulan terakhir, Juli – Desember 2023)
5	Volume bawaan pada satu kali pengiriman	Data ini didapatkan dari pertanyaan volume bawaan pada satu kali perjalanan pengiriman <i>forklift</i> .

Selanjutnya, data sekunder didapatkan dari pencarian melalui jurnal, buku, ataupun *website* dengan kredibilitas yang dapat dipercaya ataupun publikasi dari instansi resmi. Data sekunder yang diperlukan pada penelitian ini merupakan jenis data nilai faktor emisi $\text{kgCO}_2\text{e/km}$ yang berfungsi untuk menghitung besaran estimasi jejak karbon yang dihasilkan.

3.6 Metode Sampling Data Penelitian

3.6.1 Teknik Sampling

Pada penelitian yang dilakukan menggunakan teknik sampling dengan pendekatan *purposive sampling* sehingga sampel yang diambil harus sesuai dengan kriteria yang telah direncanakan terlebih dahulu agar data yang diambil tidak *abnormal*. Untuk kriteria yang digunakan pada penelitian ini, yakni karyawan dari PT X.

3.6.2 Pengumpulan Data Primer

Pada penelitian ini, digunakan metode wawancara kepada responden mengingat responden pada penelitian ini adalah para karyawan PT X yang mengurus terkait pengiriman dari *forklift* sendiri. Selain itu, wawancara dipilih agar dapat mengatur bagaimana pertanyaan yang tepat dan efektif untuk para responden sehingga data lebih akurat dan mencapai tujuan penelitian ini.

Pertanyaan wawancara pada penelitian ini berisikan pertanyaan terkait proses pengiriman *forklift* berasal, lalu terkait transportasi yang digunakan mulai dari jenis pengangkut, jenis bahan bakar, frekuensi pengiriman, beban bawaan yang dibawa pada satu kali perjalanan. Hasil wawancara ini akan tersimpan dan terdata dengan *google drive* yang kemudian akan dilakukan pengolahan dengan *Microsoft Excel*.

3.6.3 Pengumpulan Data Sekunder

Pengumpulan data sekunder yang dibutuhkan pada penelitian ini dilakukan dengan pencarian kajian studi dari instansi pemerintah atau instansi internasional.

3.6.4 Kuesioner Penelitian

Tabel 3.4 menunjukkan hasil pertanyaan yang akan diajukan selama proses wawancara berlangsung yang terkumpul pada satu kuesioner.

Tabel 3.4. Kuesioner Penelitian

No	Pertanyaan
A. Data Responden	
A1.	Nama Responden
A2.	No. HP
A3.	Departemen
B. Proses Pengiriman <i>Forklift</i>	
B1.	Berapa kali dalam sebulan biasanya perusahaan melakukan pengiriman <i>forklift</i> dari manufaktur menuju PT X?
B2.	Darimana negara asal <i>forklift</i> yang dikirimkan ke PT X?

No	Pertanyaan
B3.	Dimana lokasi spesifik pelabuhan asal pengiriman <i>forklift</i> tersebut?
B4.	Apakah yang dikirimkan hanya <i>forklift</i> saja didalam satu kali pengiriman?
B5.	Berapa banyak beban bawaan (ton) forklift selama satu kali pengiriman?
B6.	Apakah ada pola tertentu dalam jadwal pengiriman (misalnya, setiap minggu, dua minggu sekali)?
B7.	Apakah terdapat periode puncak (peak seasons) dalam pengiriman <i>forklift</i> ? Jika ya, kapan biasanya periode tersebut terjadi?
C. Kondisi Kendaraan Pengiriman <i>Forklift</i>	
C1.	Jenis kendaraan apakah yang digunakan dalam proses pengiriman <i>forklift</i> ?
C2.	Jika menggunakan <i>vessel</i> /kapal, apakah ada nama dari <i>vessel</i> tersebut?
D. Dampak terhadap Lingkungan	
D1.	Apakah ada kerjasama atau kontrak khusus dengan penyedia jasa pengiriman terkait upaya pengurangan emisi?
D2.	Apakah pernah dilakukan evaluasi atau perbandingan dengan moda transportasi lain dalam hal efisiensi dan dampak lingkungan?

3.7 Metode Perhitungan Jejak Karbon

Untuk melakukan perhitungan jejak karbon pada transportasi pengiriman *forklift* dari pelabuhan negara pengirim (manufaktur) ke pelabuhan negara penerima (PT X), digunakan metode dari *GHG Protocol*. *GHG Protocol* sendiri merupakan kerangka berstandar global komprehensif untuk mengukur dan mengelola emisi GRK pada pengoperasian sektor swasta, publik, rantai nilai ataupun tindakan mitigasi. *GHG Protocol* dibentuk bersama mitra selama 20 tahun dengan WRI, WBCSD, Pemerintahan, Asosiasi industri, NGO, dan organisasi bisnis lainnya. Standar *GHG Protocol* ini berguna untuk perusahaan ataupun jenis organisasi lainnya seperti LSM, Institusi Pemerintah, Universitas, dll untuk mengembangkan inventarisasi GRK.

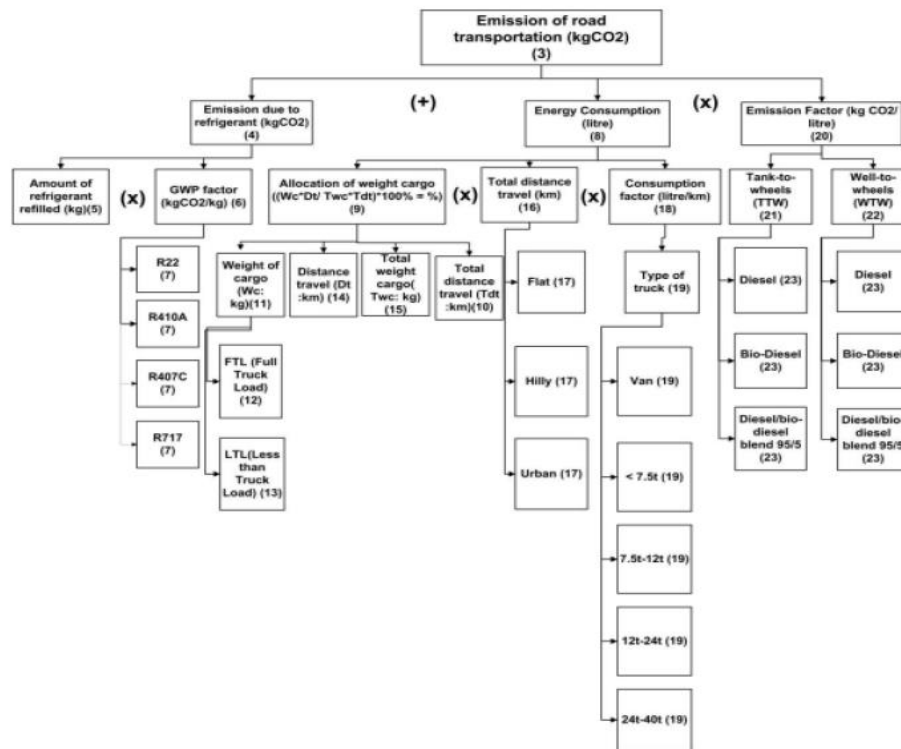
GHG Protocol ini memberikan penjelasan bagaimana perhitungan GRK yang terbagi menjadi 3 *scope* (*scope 1*, *scope 2*, *scope 3*) dan khusus *scope 3* ini akan

terbagi menjadi 15 kategori yakni, kategori 1 (barang dan jasa yang dibeli), kategori 2 (barang modal), kategori 3 (kegiatan yang berhubungan dengan bahan bakar atau energi, namun tidak termasuk ke dalam *scope* 1 dan *scope* 2), kategori 4 (transportasi hulu), kategori 5 (limbah yang dihasilkan dari operasi), kategori 6 (perjalanan bisnis), kategori 7 (perjalanan karyawan), dan kategori 8 (aset sewaan dari hulu). Lalu, untuk *scope* 3 emisi GRK *downstream* meliputi kategori 9 (transportasi dan distribusi hilir), kategori 10 (pengolahan produk yang dijual), kategori 11 (penggunaan produk yang dijual), kategori 12 (perlakuan akhir masa pakai produk yang dijual), kategori 13 (aset sewaan hilir), kategori 14 (warabala), dan kategori 15 (investasi) (GHG Protocol, 2015).

Pada penelitian ini, diklasifikasikan transportasi pengangkut sebagai *scope* 3 dan termasuk ke dalam kategori 4 (transportasi dan distribusi hulu). Hal ini karena transportasi pengiriman *forklift* dari pelabuhan negara pengirim (manufaktur) ke pelabuhan negara penerima (PT X) Dalam penelitian ini, metode yang digunakan berbasis aktivitas seperti yang tercantum pada persamaan berikut:

$$\text{Total Emisi dari Transportasi Laut (kgCO}_{2e}) = \sum (\text{quantity of goods purchased (tonnes)} \times \text{distance travelled in transport leg} \times \text{emission factor of transport mode or vehicle type (kg CO}_{2e}/\text{tonne-km)})$$

Untuk lebih jelasnya, dapat dilihat pada gambar berikut:



Gambar 3.3. Perhitungan Emisi Logistik pada GHG Protocol

Sumber: (Mubarak & Zainal, 2018)

Pemilihan rumus ini didasarkan pada pertimbangan bahwa penggunaannya telah banyak dilakukan sebagai perhitungan transportasi logistik secara luas dan sering digunakan serta paling umum diaplikasikan di wilayah Asia dan Eropa termasuk di Indonesia sesuai dengan studi literatur yang diperoleh. Dalam perhitungan yang nanti dilakukan, terdapat faktor emisi yang dapat digunakan untuk membantu menghitung jejak karbon yang dihasilkan pada kegiatan transportasi pengiriman *forklift* tersebut pada table 3.7.1 Emission Faktor DEFRA.

Tabel 3.5 *Emission Factor DEFRA*

<i>Type</i>	<i>Size</i>	<i>Unit</i>	<i>Total CO₂e</i>
<i>Container ship</i>	8000+ TEU	tonne.km	0,01266
	5000–7999 TEU	tonne.km	0,01681
	3000–4999 TEU	tonne.km	0,01681
	2000–2999 TEU	tonne.km	0,02025
	1000–1999 TEU	tonne.km	0,03250
	0–999 TEU	tonne.km	0,03675
	Average	tonne.km	0,01612
<i>Bulk Carrier</i>	200,000+ dwt	tonne.km	0,00253
	100,000–199,999 dwt	tonne.km	0,00304
	60,000–99,999 dwt	tonne.km	0,00415
	35,000–59,999 dwt	tonne.km	0,00577
	10,000–34,999 dwt	tonne.km	0,00800
	0–9999 dwt	tonne.km	0,02956
	Average	tonne.km	0,00353

Sumber: (DEFRA, 2022)

3.8 Analisis Data

3.8.1 Analisis Statistik Deskriptif

Penelitian ini menggunakan analisis statistik deskriptif untuk memudahkan penyajian data dan merangkum hasil sampling sehingga pembaca dapat menginterpretasikannya dengan baik. Analisis statistik ini menggunakan perangkat lunak *Microsoft Excel*. Tujuan dari penggunaan analisis statistik deskriptif untuk menganalisis setiap kegiatan pengiriman *forklift* di pelabuhan PT X sehingga dapat digunakan sebagai dasar perhitungan jejak karbon dari transportasi pengangkutan. Analisis ini membantu dalam mengidentifikasi pola data yang dapat dimengerti

Dalam penelitian ini, visualisasi data diperlukan untuk memudahkan pemahaman pembaca. Visualisasi data dapat berupa *Pie Chart* (grafik lingkaran untuk menunjukkan persentase data) dan bar chart (grafik batang untuk perbandingan data per negara).

3.8.2 Analisis Uji Normalitas

Sebelum melakukan uji korelasi, penting untuk menjalankan uji normalitas guna menentukan apakah data terdistribusi secara normal atau tidak. Uji normalitas terdiri dari dua jenis, yaitu Kolmogorov-Smirnov untuk data yang memiliki lebih dari 50 sampel, dan Shapiro-Wilk untuk data yang kurang dari 50 sampel. Dalam penelitian ini, karena jumlah data pengiriman melebihi 50 sampel, maka digunakan uji normalitas Kolmogorov-Smirnov (Schober, Boer, & et.al, 2018).

Jika data memiliki nilai signifikansi $> 0,05$, maka data tersebut dianggap terdistribusi normal. Sebaliknya, jika nilai signifikansi $< 0,05$, data dianggap tidak terdistribusi normal (Schober, Boer, & et.al, 2018).

3.8.3 Analisis Uji Korelasi

Uji korelasi ini bertujuan untuk mengetahui hubungan antara variabel independen seperti jarak, beban muatan, dan frekuensi pengiriman *forklift*. Analisis korelasi ini berguna untuk menentukan apakah variabel-variabel bebas tersebut berkorelasi sebagai faktor penyumbang jejak karbon pada transportasi atau tidak. Uji korelasi yang digunakan dalam penelitian ini terbagi menjadi dua, yaitu uji korelasi *pearson* yang berguna untuk menganalisis hubungan antara variabel bebas numerik dan variabel terikat yang juga berupa numerik. Uji korelasi *pearson* dapat digunakan jika data terdistribusi normal. Persamaan yang digunakan dalam uji korelasi *pearson* adalah sebagai berikut (Schober, Boer, & et.al, 2018).

$$r = \frac{n \sum X_i Y_i - \sum X_i \sum Y_i}{\sqrt{(n \sum x_i^2 - (\sum x_i)^2) (n \sum y_i^2 - (\sum y_i)^2)}}$$

Dengan keterangan sebagai berikut:

r : Koefisien Korelasi

n : Jumlah Data

Y : Variabel Terikat

X : Variabel Bebas

Selain itu, penulis menggunakan uji korelasi *spearman* untuk menganalisis hubungan antara variabel independen kategorikal dan variabel dependen. Dalam uji ini, variabel kategorikal diwakili oleh kode yang berbentuk tingkat/rasio. Uji korelasi *spearman* digunakan untuk data ordinal, yang bersifat kategorikal, tidak dapat dilakukan operasi matematika, dan berbentuk tingkatan. Uji ini dapat diterapkan baik pada data yang terdistribusi normal maupun tidak terdistribusi normal. Persamaan yang digunakan dalam uji korelasi *spearman* adalah sebagai berikut (Schober, Boer, & et.al, 2018).

$$r_s = 1 - \frac{6 \sum d_i^2}{n(n^2 - 1)}$$

Dengan keterangan:

r_s : Koefisien Korelasi

d : Selisih Kategori (Rank)

n : Jumlah Data

Pada uji korelasi ini, koefisien berkisar antara -1 hingga 1. Jika nilai koefisien positif, maka variabel bebas yang diuji memiliki hubungan searah atau positif dengan variabel terikat. Sebaliknya, jika nilai koefisien negatif, maka variabel bebas dan variabel terikat memiliki hubungan yang berlawanan atau negatif. Berikut adalah interpretasi dari nilai koefisien korelasi tersebut.

Tabel 3.6. Penjelasan Hubungan Korelasi dengan Interval Nilai Koefisien Korelasi

Interval Nilai Koefisien Korelasi	Penjelasan Hubungan Korelasi
0,00 - 0,10	Sangat rendah
0,10 – 0,39	Rendah
0,40 – 0,69	Sedang
0,70 – 0,89	Tinggi
0,89 - 1	Sangat tinggi

Sumber : (Schober, Boer, & et.al, 2018)

Selain itu, uji korelasi ini juga menghasilkan nilai signifikansi yang dikenal sebagai *p-value*. Dalam penelitian ini, digunakan tingkat kepercayaan sebesar 95%, sehingga nilai signifikansi yang ditetapkan adalah 0,05. Interpretasi dari *p-value* ini adalah sebagai berikut: jika $p\text{-value} \leq 0,05$, maka hubungan antara kedua variabel tersebut dianggap signifikan; sebaliknya, jika $p\text{-value} \geq 0,05$, maka hubungan antara kedua variabel tersebut dianggap tidak signifikan (Schober, Boer, & et.al, 2018).

3.8.4 Analisis Uji Heteroskedastisitas

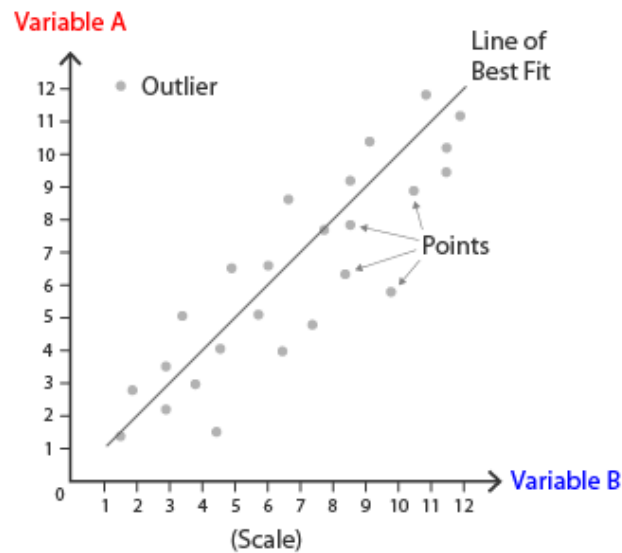
Uji Heteroskedastisitas adalah kondisi di mana terdapat ketidaksamaan varians residual dalam model regresi dari satu pengamatan ke pengamatan lainnya. Model regresi yang ideal tidak menunjukkan adanya heteroskedastisitas. Dalam penelitian ini, heteroskedastisitas dideteksi menggunakan grafik *scatterplot* dengan menggunakan SPSS. Uji heteroskedastisitas bertujuan untuk mendeteksi apakah terdapat ketidaksamaan varians residual dari satu pengamatan ke pengamatan lainnya dalam sebuah model regresi. Uji ini penting untuk menentukan apakah varians residual konsisten atau bervariasi antar pengamatan. Biasanya, data *crossection* menunjukkan heteroskedastisitas karena mengumpulkan data dari berbagai ukuran entitas kecil, sedang, dan besar (Ghozali, 2016).

Residual adalah selisih antara nilai observasi dengan nilai prediksi, dan absolut berarti nilai mutlak. Jika variasi residual konsisten antar pengamatan, ini disebut homoskedastisitas. Sebaliknya, jika variasi residual berbeda, ini disebut heteroskedastisitas. Untuk mendeteksi heteroskedastisitas dalam model regresi linear berganda, dapat dilakukan dengan melihat grafik *scatterplot* atau nilai prediksi variabel terikat (SRESID) terhadap error residual (ZPRED).

Kriteria pengambilan keputusan dalam uji heteroskedastisitas dengan grafik *scatterplot* adalah sebagai berikut:

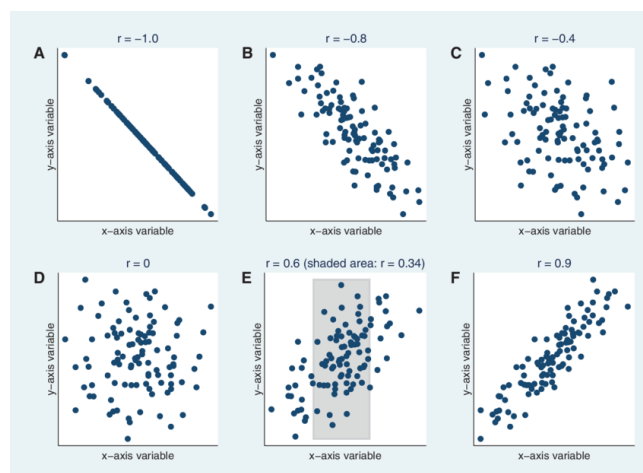
1. Jika grafik *scatterplot* menunjukkan pola tertentu, seperti titik-titik yang membentuk pola teratur (misalnya bergelombang atau menyebar kemudian menyempit), maka hal ini mengindikasikan adanya heteroskedastisitas.

2. Jika tidak terdapat pola yang jelas dan titik-titik tersebar secara acak, maka hal ini mengindikasikan tidak adanya heteroskedastisitas.



Gambar 3.4. Anatomi dari *Scatterplot*

Sumber : <https://datavizcatalogue.com/methods/scatterplot.html>



Gambar 3.5. Contoh dari *Scatterplot* dan Korelasinya

Sumber : Schober., et al (2018)

Jenis korelasi dapat ditafsirkan melalui pola yang ditunjukkan pada *scatterplot*. Pola-pola tersebut adalah: positif (nilai meningkat bersama-sama), negatif (satu nilai menurun saat nilai lainnya meningkat) atau nol (tidak ada

korelasi). Bentuk korelasi dapat digambarkan sebagai: linier, eksponensial, dan berbentuk U. Kekuatan korelasi dapat ditentukan dari seberapa dekat jarak titik-titik tersebut satu sama lain pada grafik. Titik-titik yang berada jauh di luar kelompok titik-titik pada umumnya dikenal sebagai pencilan.

Garis atau kurva dapat ditampilkan di atas grafik untuk membantu analisis. Hal ini biasanya dikenal sebagai *Line of Best Fit* atau *Trend Line* dan dapat digunakan untuk membuat estimasi melalui interpolasi. *Line of Best* digambar sedekat mungkin dengan semua titik untuk menunjukkan bagaimana tampilannya jika semua titik digabungkan menjadi satu garis.

BAB IV

HASIL PENELITIAN DAN ANALISIS DATA

4.1 Pengambilan Sampel Responden

Penelitian ini dilakukan oleh penulis dengan membuat terlebih dahulu pertanyaan dalam bentuk wawancara langsung yang ditujukan pada **LAMPIRAN I** agar memudahkan penulis dalam menggali data penelitian. Selain itu, penulis juga mengunjungi perusahaan untuk perizinan dalam melakukan sesi wawancara langsung. Dalam melakukan sesi wawancara, penulis mengumpulkan data dari sampel responden dengan langsung menanyakan pertanyaan secara tatap muka dan mencatat jawaban mereka secara manual untuk memudahkan proses pengambilan data serta mengurangi beban responden dalam mengisi kuesioner.

Penulis memperhatikan waktu yang tepat untuk menghubungi para responden, yang dalam penelitian ini adalah para pihak yang terlibat dalam proses pengiriman *forklift* dari manufaktur menuju PT X melalui moda transportasi laut. Responden yang diperlukan dalam penelitian ini terdiri dari dua kelompok utama, yaitu bagian pemasaran dari perusahaan manufaktur *forklift*, dan departemen lingkungan. Pemilihan kedua departemen ini didasarkan pada peran masing-masing departemen yang krusial dan upaya pengurangan emisi dalam proses pengiriman *forklift*. Departemen pemasaran di perusahaan manufaktur bertanggung jawab mengatur dan memproses pengiriman *forklift*, memiliki informasi rinci mengenai rute, jenis kapal, beban muatan, dan frekuensi dari pengiriman. Sementara itu, departemen lingkungan di PT X bertanggung jawab atas upaya pengurangan emisi dan proses pengiriman.

Penelitian ini melibatkan wawancara dengan tiga orang dari departemen lingkungan PT X karena hanya terdapat tiga personel yang relevan. Sementara itu, dari departemen pemasaran, hanya dua orang yang diwawancarai karena hanya pihak tersebut yang secara langsung menangani pengiriman *forklift*. Pemilihan jumlah responden didasarkan pada personel yang paling relevan untuk memastikan

data yang dikumpulkan akurat dan komprehensif. Pendekatan ini memungkinkan penelitian memperoleh gambaran menyeluruh mengenai faktor-faktor yang mempengaruhi emisi dalam proses pengiriman *forklift*.

Berdasarkan hasil pengamatan dan wawancara, diketahui bahwa waktu yang paling tepat untuk menghubungi bagian pemasaran dari perusahaan manufaktur *forklift* adalah pada pagi hari antara pukul 09.00 – 12.00 WIB, karena mereka cenderung memiliki waktu lebih luang untuk berdiskusi mengenai detail proses pengiriman pada jam tersebut. Sementara itu, untuk departemen lingkungan di PT X, waktu yang paling fleksibel adalah pada siang hari antara pukul 13.00 – 16.00 WIB, mengingat jadwal mereka yang padat dengan berbagai program dan inisiatif lingkungan.

Penulis menyesuaikan jadwal wawancara dengan waktu-waktu tersebut untuk memastikan bahwa semua informasi yang dibutuhkan dapat diperoleh secara efektif dan efisien, tanpa mengganggu aktivitas harian para responden. Dengan demikian, proses pengumpulan data dapat dilakukan dengan lancar dan mendukung tujuan penelitian untuk menganalisis jejak karbon dalam pengiriman *forklift* dari manufaktur menuju PT X.

Gambar 4.1. Dokumentasi dengan Responden

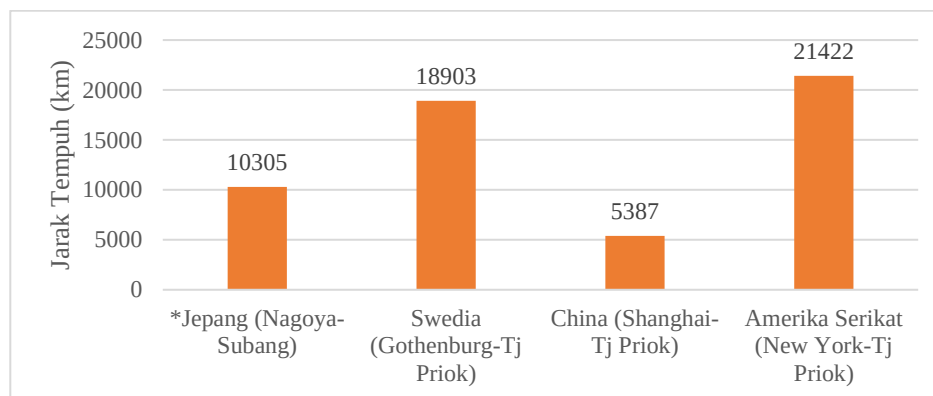
Keterangan	Dokumentasi
<p>Pihak dari departemen pemasaran</p>	

Keterangan	Dokumentasi
	 A photograph of a man and a woman sitting side-by-side in an office cubicle. The man is wearing a dark blue jacket over a white shirt, and the woman is wearing a white long-sleeved shirt and a patterned skirt. They are both smiling at the camera.
Pihak dari departemen lingkungan	 A photograph of a man and a woman standing in an office hallway. The woman is wearing a blue denim jacket over a black top and a black hijab, and the man is wearing a light blue button-down shirt and dark pants. They are both smiling at the camera.
	 A photograph of a man and a woman sitting on a red office chair. The woman is wearing a blue denim jacket over a black top and a black hijab, and the man is wearing a grey button-down shirt and dark pants. They are both smiling at the camera.

Keterangan	Dokumentasi
	 A photograph showing a man and a woman sitting at a wooden desk in an office. The man is on the left, wearing a grey shirt and khaki pants, looking at a laptop. The woman is on the right, wearing a black hijab and a dark purple dress, gesturing with her hands while talking. There are papers and a laptop on the desk.
<p>Mengunjungi gudang tempat penyimpanan <i>forklift</i></p>	 A photograph of four people standing in a large warehouse. From left to right: a man in a yellow shirt and blue pants, a woman in a green safety vest and patterned sarong, a man in a green safety vest and grey pants, and a man in a yellow shirt and blue pants. They are standing in front of several red forklifts. The warehouse has a high ceiling and metal beams.  A photograph showing a person operating a red forklift in a warehouse. The person is wearing a yellow shirt and blue pants. Another person in a green safety vest and patterned sarong is standing next to the forklift, possibly supervising or assisting. The warehouse floor is green, and there are metal beams and other equipment in the background.

4.1.1 Jarak Tempuh

Jarak tempuh disini merupakan pengiriman forkilift dalam satu kali pengiriman. Dari hasil wawancara, didapatkan rentang jarak tempuh yang dilalui oleh para responden.



Gambar 4.2. Jarak Tempuh masing-masing Negara Pengiriman *Forklift*

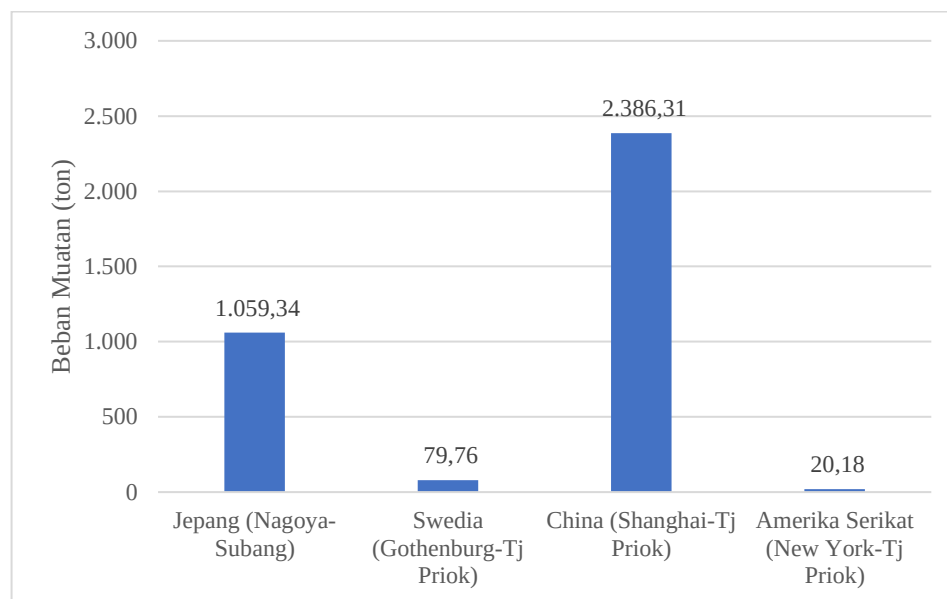
Keterangan:

* = Pengiriman dari Jepang dilakukan melalui pelabuhan Subang, berbeda dengan negara lain yang menggunakan pelabuhan Tanjung Priok.

Pada **Gambar 4.2** Jarak tempuh pengiriman *forklift* dari Amerika Serikat (New York) ke Tanjung Priok lebih jauh karena Amerika Serikat terletak di benua Amerika Utara yang secara geografis lebih jauh dari Indonesia dibandingkan dengan China yang terletak di benua Asia. Oleh karena itu, perjalanan dari New York ke Tanjung Priok membutuhkan lebih banyak waktu dan melewati lebih banyak wilayah perairan dibandingkan dengan perjalanan dari Shanghai ke Tanjung Priok yang relatif lebih dekat dan berada di wilayah Asia yang sama. Informasi lebih lengkap mengenai jarak tempuh dan rute pengiriman dari masing-masing negara dapat dilihat pada **LAMPIRAN II**.

4.1.2 Beban Muatan

Beban muatan yang dibawa pada setiap negara memiliki karakteristik yang cukup beragam. Berikut adalah rerata persebaran data beban muatan di PT X (Juli-Desember 2023).



Gambar 4.3. Beban Muatan per masing-masing Negara

Beban muatan pengiriman *forklift* dari China lebih tinggi dibandingkan dengan dari US. Hal ini disebabkan oleh tingginya permintaan terhadap *forklift* dari China, yang disukai karena kualitasnya yang baik dan metode pemeliharaannya yang efisien. Banyak pelanggan lebih memilih *forklift* dari China karena ketersediaan suku cadang yang mudah dan biaya operasional yang lebih rendah. Di sisi lain, pengiriman *forklift* dari Amerika Serikat memiliki beban muatan yang lebih sedikit karena jumlah peminat dan pelanggan yang lebih rendah, serta preferensi pasar yang berbeda yang lebih mengutamakan produk dari kawasan Asia.

4.2 Hasil Perhitungan Jejak Karbon Proses Pengiriman *Forklift* dari Manufaktur menuju PT X melalui Moda Transportasi Laut

Perhitungan jejak karbon pada proses pengiriman *forklift* dari Manufaktur menuju PT X melalui moda transportasi laut, dilakukan dengan bantuan *microsoft excel* dengan menggunakan rumus untuk kategori 4: *upstream transportation* pada *GHG Protocol*. Dalam perhitungan yang dilakukan oleh peneliti, dibutuhkan data seperti beban yang diangkut (beban *forklift*), jarak tempuh yang dilalui oleh kendaraan pengangkut, dan nilai faktor emisi yang digunakan.

4.2.1 Rerata Jejak Karbon Pengiriman *Forklift*

Perhitungan jejak karbon pada penelitian ini menggunakan GHG Protocol untuk kategori 4 : *Upstream Transportation/Distribution* dan standar factor emisi yang bersumber dari *Department for Environment, Food, and Rural Affairs* (DEFRA) yang ditunjukkan oleh **Tabel 4.1** Adapun metode yang digunakan adalah *distance based* dengan data yang diperlukan adalah jarak tempuh (km). Penulis telah menghitung hasil jejak karbon yang didapatkan dari rumus metode *distance based* untuk masing-masing negara yang diteliti dalam bentuk *bar chart*.

Perhitungan dilakukan dengan persamaan yang telah disebutkan pada Bab III, terkait metode perhitungan jejak karbon. Setiap negara mempunyai jenis vessel yang berbeda-beda, keterangan lebih lengkap mengenai setiap vessel dapat dilihat pada **LAMPIRAN III**. Berikut salah satu contoh perhitungan dapat dilihat pada bawah ini:

Tabel 4.1. Pengiriman Jejak Karbon dari Jepang (Bulan Juli)

Produk	Negara Asal	Nama Kapal	Berat (Kg)	Tanggal Pengiriman
TYT <i>Forklift</i>	Jepang	SIEM CURIE	57.915	4-Jul-24

Diketahui:

Produk : TYT *Forklift*

Negara Asal : Jepang

Nama Kapal : *Siem Curie*

Jarak tempuh (km) : 10305 km

Berat bersih muatan (ton) : 58 ton

Emission Factor (kgCO_{2e}): 0,00800 kgCO_{2e}

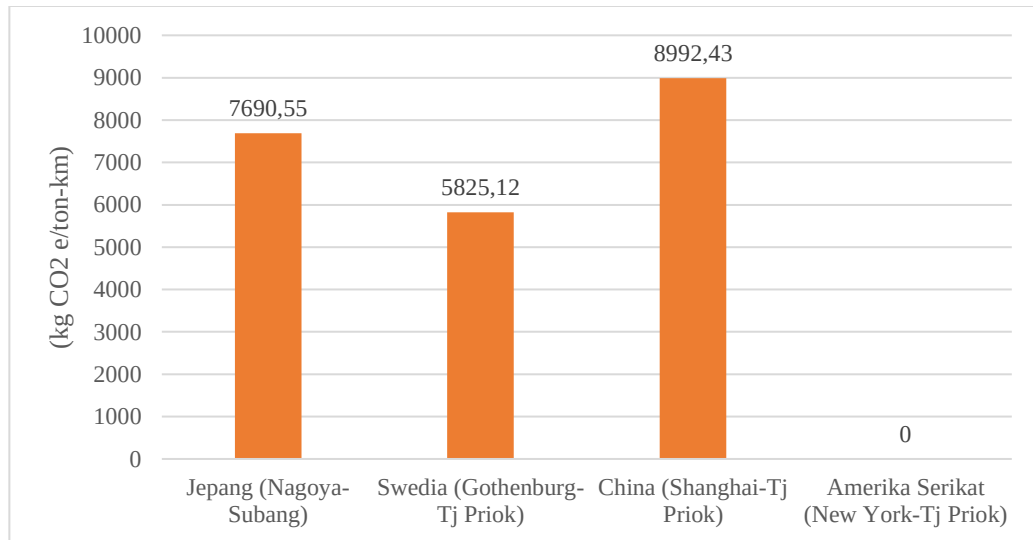
Total Emisi dari Transportasi Laut (kgCO_{2e}) :

$\sum (quantity\ of\ goods\ purchased\ (tonnes) \times distance\ travelled\ in\ transport\ leg\ (km) \times emission\ factor\ of\ transport\ mode\ or\ vehicle\ type\ (kg\ CO_2e/tonne-km))$

Perhitungan:

Total Emisi dari Transportasi Laut ($kgCO_{2e}$) =

$58 \text{ ton} \times 10305 \text{ km} \times 0,03675 \text{ } kgCO_{2e} : 21.933,88 \text{ } kgCO_{2e}$ (Persamaan 1)

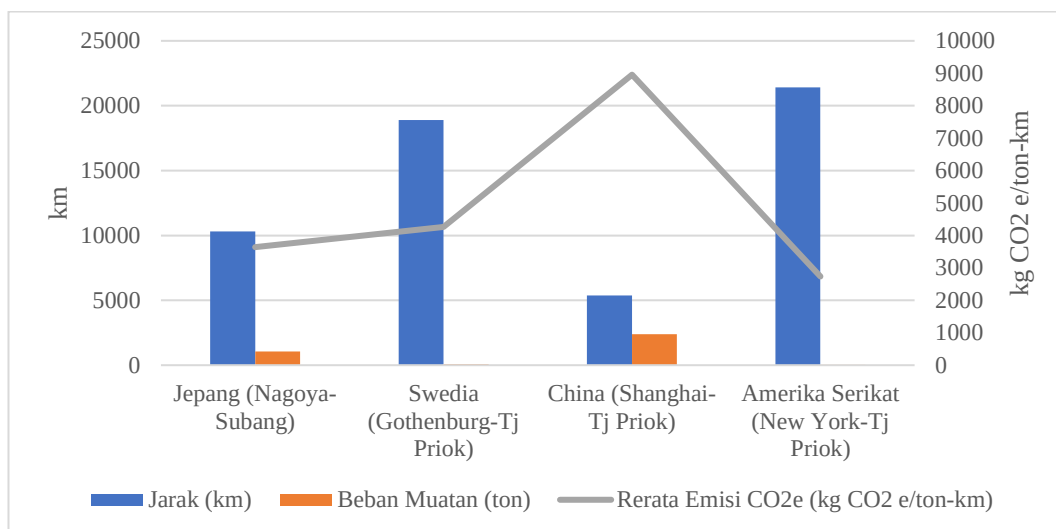


Gambar 4.4. Hasil Perhitungan Jejak Karbon Pengiriman *Forklift* pada Bulan Juli 2023

Agar memperjelas perbandingan masing-masing jejak karbon yang diperoleh dari pengiriman dari beberapa negara, dapat dilihat pada **Tabel 4.3**. Perhitungan yang lebih detail dan rinci terkait jejak karbon dari pengiriman dari tiap negara akan disertakan pada **LAMPIRAN V**.

Tabel 4.2. Pengiriman Jejak Karbon dari tiap Negara (Juli-Desember 2023)

Negara	Jepang (Nagoya-Subang)	Swedia (Gothenburg-Tj Priok)	China (Shanghai-Tj Priok)	Amerika Serikat (New York-Tj Priok)
Jarak (km)	10.305	18.903	5.387	21.422
Beban Muatan (ton)	1.058,34	79,76	2.386,31	20,18
Rerata Emisi CO_{2e} (kg CO_{2e} e/ton-km)	3.639,04	4.265,83	8.956,98	2.736,16



Gambar 4.5. Rerata Jejak Karbon Enam Bulan Terakhir (Juli-Desember 2023)

Berdasarkan **Gambar 4.5** yang ditampilkan menunjukkan hubungan antara jarak (km), beban muatan (ton), dan rata-rata emisi CO₂ e(kg CO₂e/ton-km) dari beberapa negara ke Pelabuhan Tanjung Priok, Jakarta, Indonesia, dalam periode Juli-Desember 2023. Negara-negara tersebut meliputi Jepang (Nagoya-Subang), Swedia (Gothenburg-Tj Priok), China (Shanghai-Tj Priok), dan Amerika Serikat (New York-Tj Priok).

Jepang (Nagoya-Subang) memiliki jarak pengiriman sekitar 10,305 km dengan beban muatan sekitar 1.058,34 ton dan rata-rata emisi CO₂e sebesar 3.639,04 kg CO₂e/ton-km. Swedia (Gothenburg-Tj Priok) memiliki jarak pengiriman lebih jauh, yaitu 18,903 km, dengan beban muatan 79,76 ton dan rata-rata emisi CO₂e sebesar 4,265.83 kg CO₂e/ton-km. China (Shanghai-Tj Priok) menunjukkan jarak pengiriman yang lebih pendek yaitu 5.387 km, namun dengan beban muatan yang lebih tinggi yaitu 2.386,31 ton dan emisi sebesar 8.956,98kg CO₂e/ton-km. Amerika Serikat (New York-Tj Priok) memiliki jarak pengiriman terpanjang, yaitu 21.422 km, dengan beban muatan 20,18 ton dan rata-rata emisi CO₂e sebesar 2.736,16 kg CO₂e/ton-km. Perlu diketahui kembali bahwa rute pengiriman dari Jepang berbeda karena proses pengirimannya dilakukan ke pelabuhan di Subang. Hal ini disebabkan oleh pertimbangan logistik yang lebih

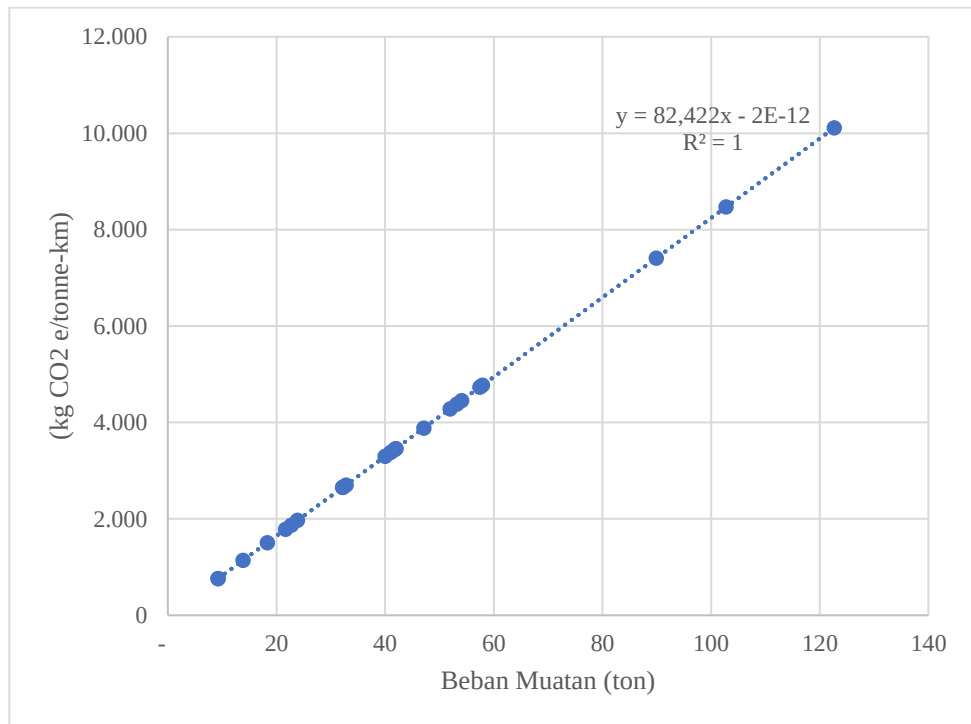
efisien untuk distribusi *forklift* di wilayah tersebut, serta adanya fasilitas penerima yang lebih sesuai dengan kebutuhan operasional di Subang.

Dari grafik tersebut, terlihat bahwa jarak dan beban muatan mempengaruhi emisi CO_2e secara signifikan. Jarak yang lebih jauh dan beban yang lebih berat cenderung menghasilkan emisi yang lebih tinggi. Namun, ada pengecualian seperti pengiriman dari China yang memiliki beban muatan tinggi tetapi jarak lebih pendek dan emisi yang sangat tinggi. Ini menunjukkan bahwa efisiensi operasional, frekuensi pengiriman dan jenis *vessel* yang digunakan juga memainkan peran penting dalam menentukan total emisi.

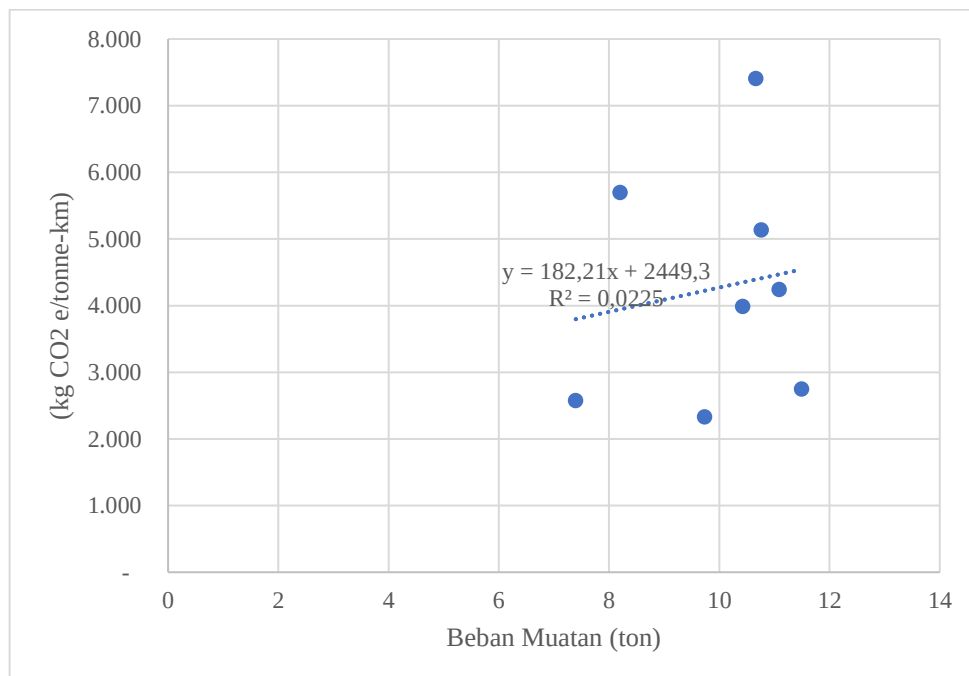
Hal ini menunjukkan bahwa jarak pengiriman dan beban muatan memiliki dampak signifikan terhadap emisi CO_2e yang dihasilkan. Contohnya, pengiriman dari China memiliki emisi tertinggi meskipun jaraknya lebih pendek dibandingkan dengan Amerika Serikat, karena frekuensi pengiriman dari China juga lebih sering dilakukan. Pentingnya regulasi ketat dan kebijakan lingkungan untuk mengurangi emisi di sektor maritim (Amin et al., 2020)

Korelasi antara grafik ini dan meta analisis tersebut menunjukkan bahwa faktor-faktor seperti teknologi kapal, efisiensi operasional, dan kebijakan lingkungan sangat mempengaruhi emisi CO_{2e} yang dihasilkan. Dengan demikian, untuk mengurangi dampak lingkungan dari pengiriman internasional, peningkatan efisiensi operasional dan adopsi teknologi ramah lingkungan sangat diperlukan.

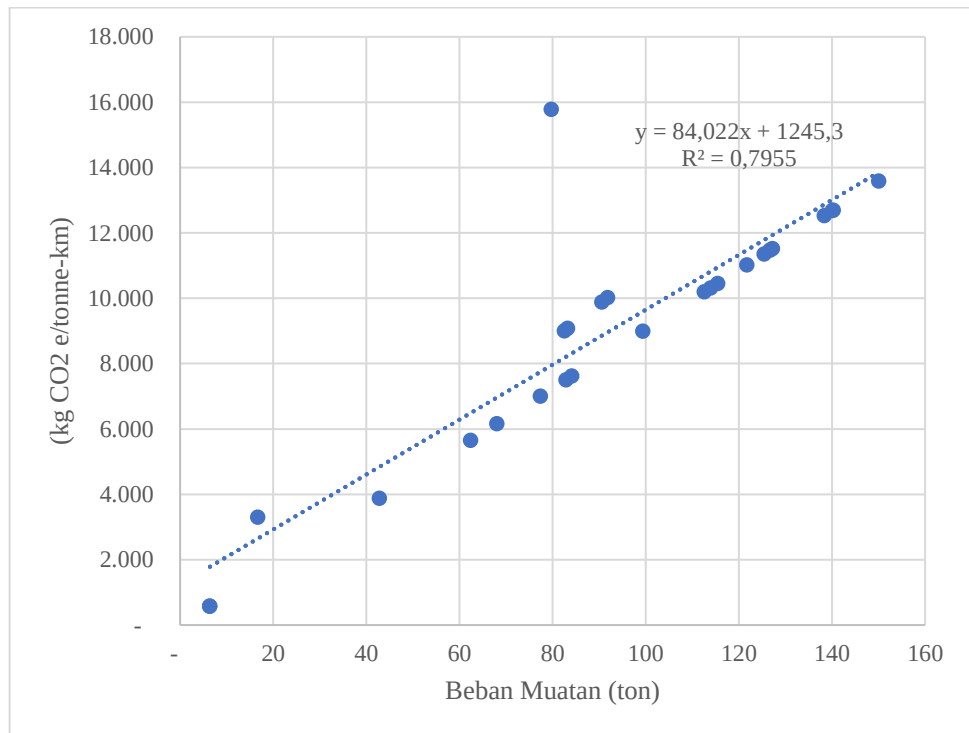
Konsistensi hasil penelitian ini disebabkan oleh keseragaman hasil jejak karbon pada keseluruhan masing-masing pengiriman yang didapatkan walaupun memiliki besaran beban bawaan seperti yang dapat dilihat pada **Gambar 4.10**. Namun, apabila dilakukan uji korelasi terhadap masing-masing negara, maka ditemukan bahwa hubungan beban dengan jejak karbon akan memiliki hubungan yang berbanding lurus.



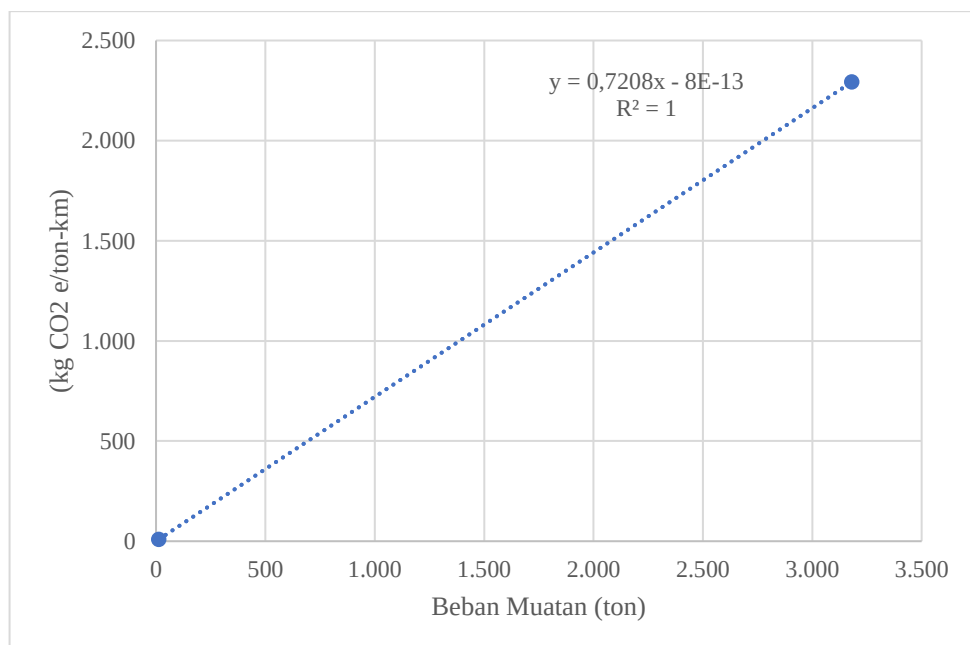
Gambar 4.6. Hubungan Beban Muatan dengan Jejak Karbon Pengiriman *Forklift* dari Jepang



Gambar 4.7. Hubungan Beban Muatan dengan Jejak Karbon Pengiriman *Forklift* dari Swedia



Gambar 4.8. Hubungan Beban Muatan dengan Jejak Karbon Pengiriman *Forklift* dari China



Gambar 4.9. Hubungan Beban Muatan dengan Jejak Karbon Pengiriman *Forklift* dari Amerika Serikat

Hasil dari *scatter* tersebut menunjukkan hasil yang beragam dari setiap negara. Contohnya, pada **Gambar 4.6** grafik *scatterplot* negara Jepang yang menunjukkan pola hubungan antara beban muatan (ton) dan emisi karbon ($kgCO_{2e}/tonne\text{-}km$) pada pengiriman *forklift* selama periode Juli hingga Desember 2023. Dari grafik ini, terlihat bahwa terdapat hubungan linear yang sangat kuat antara beban muatan dan emisi karbon, yang ditunjukkan oleh nilai $R^2 = 1$. Koefisien determinasi sebesar 1 menandakan bahwa hubungan antara berat muatan dan emisi CO_{2e} sempurna, di mana setiap peningkatan berat muatan dapat sepenuhnya menjelaskan variasi dalam emisi CO_{2e} .

Data dari Jepang menunjukkan bahwa terdapat 21 pengiriman dalam enam bulan terakhir. Tingginya jumlah pengiriman ini disebabkan oleh permintaan yang tinggi dari konsumen, kualitas *forklift* yang baik, serta ketersediaan suku cadang yang mudah ditemukan di Indonesia. Faktor-faktor ini menjadikan *forklift* Jepang pilihan yang populer, sehingga meningkatkan frekuensi pengiriman. Berat muatan dalam pengiriman dari Jepang bervariasi dari sekitar 10 hingga 122,67 ton. *Scatterplot* memperlihatkan bahwa setiap peningkatan berat muatan secara konsisten diikuti oleh peningkatan emisi CO_{2e} .

Hubungan linear dalam *scatterplot* ini menunjukkan bahwa seiring dengan peningkatan berat muatan, emisi karbon juga meningkat secara proporsional. Hal ini karena berat muatan yang lebih tinggi memerlukan lebih banyak energi untuk transportasi, yang pada gilirannya meningkatkan konsumsi bahan bakar dan emisi karbon. Dalam konteks pengiriman *forklift* dari Jepang, frekuensi pengiriman yang besar ini menghasilkan emisi karbon yang tinggi karena setiap pengiriman membawa beban muatan yang signifikan. Emisi karbon dari pengiriman sangat dipengaruhi oleh beban muatan, jarak pengiriman, dan frekuensi dari pengiriman.

Tabel 4.3. Data Pengiriman *Forklift* Juli – Desember 2021

Negara Asal	Berat Muatan (ton)	Emisi CO₂e (kg CO₂e/tonne-km))	Frekuensi Pengiriman (Juli-Desember 2023)
Jepang	57,92	4773,49	24 kali
	122,67	10110,33	
	102,76	8469,63	
	89,89	7408,77	
	54,05	4455,17	
	41,64	3432,31	
	21,64	1783,37	
	23,87	1967,09	
	47,10	3882,25	
	9,22	760,26	
	57,42	4732,36	
	13,82	1139,32	
	18,29	1507,67	
	9,24	761,17	
	51,93	4279,94	
	53,18	4382,89	
	41,98	3460,42	
	32,21	2654,82	
	32,18	2651,94	
	41,87	3451,35	
	22,72	1872,72	
	32,77	2700,98	
	40,00	3297,22	
	40,98	3377,58	
Swedia	10,66	7406,51	8 kali
	11,09	4243,73	
	8,20	5696,08	
	11,49	2749,76	
	10,76	5137,52	
	9,73	2328,71	
	10,42	3989,96	
	7,395	5137,52	
China	77,38	7006,36	26 kali
	113,98	10319,85	
	150,08	13588,52	
	62,43	5652,26	
	82,89	7505,26	

Negara Asal	Berat Muatan (ton)	Emisi CO ₂ e (kg CO ₂ e/tonne-km))	Frekuensi Pengiriman (Juli-Desember 2023)
	90,59	9882,34	
	127,22	11519,12	
	121,70	11018,86	
	68,06	6162,48	
	140,27	12700,28	
	99,35	8995,63	
	6,40	579,49	
	115,44	10452,50	
	84,14	7618,45	
	138,36	12527,79	
	42,82	3877,13	
	140,11	12686,24	
	6,40	579,49	
	16,68	3303,40	
	125,45	11358,40	
	91,83	10017,61	
	112,59	10194,45	
	79,70	15779,46	
	126,70	11472,04	
	82,56	9006,36	
	83,22	9077,81	
Amerika Serikat	11,73	3180,10	2 kali
	8,45	2292,23	

Pada **Tabel 4.3** menunjukkan data pengiriman *forklift* dari Jepang, Swedia, China, dan Amerika Serikat ke Indonesia dalam periode Juli hingga Desember 2023. Pada setiap bulannya frekuensi pengiriman tiap negara berbeda-beda, untuk penjelasan lebih rinci, dapat dilihat pada **LAMPIRAN IV**. Selain itu, terdapat beberapa faktor yang memengaruhi terkait emis yang dihasilnya, yakni:

A. Negara Asal dan Frekuensi Pengiriman

- Jepang: Pengiriman *forklift* dari Jepang menunjukkan frekuensi yang cukup tinggi yaitu 24 kali selama periode tersebut. Berat muatan yang diangkut bervariasi, mulai dari 9,22 ton hingga 122,67 ton. Emisi CO₂ yang dihasilkan juga bervariasi, berkisar antara 760,26 kg CO₂e/ton-km

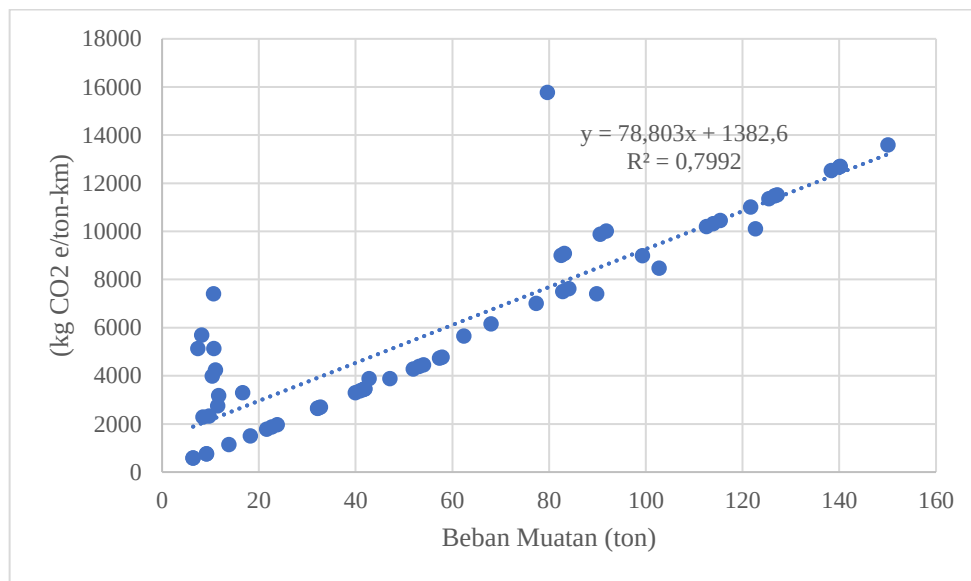
hingga 10110,33 kg CO_2e /ton-km. Tingginya frekuensi pengiriman dan variasi dalam berat muatan ini mencerminkan tingginya permintaan terhadap *forklift* Jepang, yang dikenal memiliki kualitas yang baik dan ketersediaan suku cadang yang mudah di Indonesia.

- Swedia: Terdapat 8 kali pengiriman dengan beban muatan antara 8,20 ton hingga 11,49 ton. Meskipun frekuensinya lebih rendah, beban muatan dari Swedia relatif konsisten.
- China: Melakukan 26 kali pengiriman dengan variasi beban muatan yang sangat luas, yaitu dari 6,40 ton hingga 140,27 ton. Hal ini mencerminkan tingginya permintaan serta fleksibilitas dalam ukuran muatan yang diangkut.
- Amerika Serikat: Terdapat 2 kali pengiriman dengan beban muatan 8,45 ton dan 11,73 ton, menunjukkan permintaan yang lebih rendah dibandingkan negara lain.

B. Beban Muatan dan Emisi CO_2e

- Jepang: Emisi CO_2e berkisar dari 760,26 kg CO_2e /ton-km hingga 10110,33 kg CO_2e /tonne-km. Ini menunjukkan korelasi positif antara beban muatan dan emisi karbon.
- Swedia: Emisi CO_2e berkisar antara 2328,71 kg CO_2e /ton-km hingga 7406,51 kg CO_2e /tonne-km. Beban muatan yang relatif rendah menghasilkan emisi yang lebih rendah.
- China: Emisi CO_2e berkisar dari 579,49 kg CO_2e /ton-km hingga 12700,28 kg CO_2e /tonne-km. Variasi yang luas dalam beban muatan mencerminkan variasi emisi yang besar pula.
- Amerika Serikat: Emisi CO_2e berkisar antara 2292,23 kg CO_2e /ton-km hingga 3180,10 kg CO_2e /ton-km, sesuai dengan beban muatan yang lebih rendah.

Sedangkan, untuk hubungan beban muatan dengan jejak karbon pengiriman *forklift* secara keseluruhan adalah sebagai berikut.



Gambar 4.10. Hubungan Beban terhadap Keseluruhan Jejak Karbon Pengiriman Forklift

Hasil *scatterplot* tersebut memperlihatkan hubungan antara berat pengiriman dan hasil pengiriman ke Jepang, Swedia, China, dan Amerika Serikat selama enam bulan terakhir, dengan total 56 pengiriman menggunakan *vessel*. Garis persamaan regresi pada *scatterplot* memiliki persamaan $y = 78,803x + 1382,6$ dan nilai koefisien determinasi $R^2 = 0,7992$. R^2 ini menunjukkan bahwa ada hubungan yang kuat dan positif antara berat muatan dan emisi CO_2e di mana sekitar 82,2% variasi emisi CO_2e dapat dijelaskan oleh variasi dalam berat muatan.

Berdasarkan *scatterplot*, terlihat bahwa semakin berat muatan, semakin tinggi emisi CO_2e yang dihasilkan. Data dari Jepang menunjukkan variasi berat muatan dari 9,22 ton hingga 122,67 ton dengan emisi CO_2e berkisar antara 760,26 kg hingga 10110,33 kg. Pengiriman dari China, dengan frekuensi tertinggi, menunjukkan berat muatan hingga 150,08 ton dan emisi CO_2e tertinggi hingga 13.588,52 kg CO_2e /ton-km.

Beberapa faktor utama yang mempengaruhi emisi CO_2e dalam pengangkutan barang termasuk:

1. **Berat Muatan:** Seperti yang ditunjukkan dalam *scatterplot*, berat muatan adalah faktor utama yang berkontribusi pada emisi CO_2e .

Kendaraan yang mengangkut beban lebih berat akan membutuhkan lebih banyak bahan bakar yang menghasilkan lebih banyak emisi.

2. **Frekuensi Pengiriman:** Frekuensi pengiriman yang tinggi, seperti yang terlihat dari data pengiriman dari China, menunjukkan total emisi yang lebih tinggi meskipun efisiensi per pengiriman mungkin tetap konsisten.
3. **Jarak Tempuh:** Meskipun data spesifik jarak tidak diberikan dalam *scatterplot*, umumnya jarak tempuh yang lebih panjang akan meningkatkan emisi total.

Hubungan linear yang kuat dalam *scatterplot* ini menunjukkan bahwa peningkatan berat muatan secara konsisten diikuti oleh peningkatan emisi CO_2e . Persamaan regresi $y = 78,803x + 1382,6$ mengindikasikan bahwa setiap penambahan satu ton muatan akan meningkatkan emisi CO_2e sebesar 80,7 kg CO_2e /ton-km. Koefisien determinasi $R^2 = 0,7992$ menegaskan bahwa berat muatan adalah prediktor yang baik untuk emisi CO_2e dalam konteks pengiriman ini. Berat muatan secara signifikan mempengaruhi emisi CO_2e , dengan peningkatan berat muatan menyebabkan peningkatan emisi. Hal ini menyoroti pentingnya mempertimbangkan berat muatan dalam upaya untuk mengurangi emisi karbon dalam logistik dan transportasi. Frekuensi pengiriman juga merupakan faktor penting yang mempengaruhi total emisi CO_2e . Korelasi linear yang terlihat dalam *scatterplot* mengindikasikan bahwa pengurangan berat muatan dan peningkatan efisiensi transportasi dapat menjadi strategi efektif untuk mengurangi jejak karbon pengiriman.

4.3 Faktor-Faktor yang Memengaruhi Jejak Karbon Pengiriman *Forklift*

Untuk mengetahui faktor-faktor yang mempengaruhi besaran jejak karbon dari pengiriman *forklift* dari manufaktur menuju PT X, dilakukan analisis menggunakan uji korelasi. Sebelum uji korelasi dilakukan, penulis melakukan uji normalitas menggunakan SPSS untuk menentukan jenis uji korelasi yang sesuai, apakah uji korelasi *pearson* atau *spearman*. Karena hasil uji normalitas menunjukkan bahwa data tidak terdistribusi normal, penulis menggunakan uji korelasi *spearman* untuk melihat hubungan antara variabel x dan variabel y. Seperti

dijelaskan dalam Bab III, uji korelasi memiliki nilai p untuk menentukan signifikansi korelasi yang dihasilkan, dengan tingkat signifikansi yang dipilih sebesar 0,05. Jika nilai $p < 0,05$, maka hubungan korelasi dianggap signifikan; sebaliknya, jika $p > 0,05$, maka hubungan korelasi dianggap tidak signifikan. Analisis ini bertujuan untuk mengidentifikasi faktor-faktor yang mempengaruhi jejak karbon sebagai referensi dalam mengurangi jejak karbon pada pengiriman *forklift* dari manufaktur menuju PT X.

Tabel 4.4 Hasil Uji Korelasi terhadap Hasil Jejak Karbon pada Keseluruhan Pengiriman *Forklift*

No.	Faktor	Jejak Karbon
1.	Jarak Tempuh (km)	($r = 0,715^{**}$) ($p = 0,000$)
2.	Berat Muatan (ton)	($r = 0,850^{**}$) ($p = 0,000$)
3.	Frekuensi Pengiriman	($r = 0,173$) ($p = 0,000$)

Keterangan:

$**$ = Memiliki korelasi signifikan pada level 0,01 (*2-tailed*)

Hasil uji korelasi antara tiga faktor (jarak tempuh, berat muatan, dan frekuensi pengiriman) dengan jejak karbon menunjukkan adanya hubungan yang signifikan dan bervariasi tingkat kekuatannya. Jarak tempuh memiliki korelasi positif yang sangat kuat dengan jejak karbon, ditunjukkan oleh $r = 0.715^{**}$ (memiliki korelasi signifikan pada level 0,01) dan nilai $p = 0,000$. Hal ini menunjukkan bahwa semakin jauh jarak tempuh, semakin besar jejak karbon yang dihasilkan. Berat muatan juga menunjukkan korelasi positif yang sangat kuat dengan jejak karbon, dengan koefisien korelasi sebesar 0.850 ** (memiliki korelasi signifikan pada level 0,01) dan nilai $p = 0.000$, yang mengindikasikan bahwa semakin berat muatan, semakin besar jejak karbon yang dihasilkan. Sementara itu, frekuensi pengiriman menunjukkan korelasi positif yang lebih lemah dengan jejak karbon, dengan $r = 0,173$ dan nilai $p = 0,000$. Meskipun pengaruhnya lebih lemah

dibandingkan dua faktor sebelumnya, korelasi ini tetap signifikan secara statistik. Maka dapat disimpulkan bahwa, jarak tempuh dan berat muatan memiliki pengaruh yang sangat signifikan dan kuat terhadap jejak karbon, sedangkan frekuensi pengiriman memiliki pengaruh yang signifikan namun lebih lemah terhadap jejak karbon.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Dari penelitian yang telah dilakukan terkait analisis jejak karbon pengiriman *forklift* dari manufaktur menuju PT X melalui moda transportasi laut, dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut:

1. Rata-rata jejak karbon yang dihasilkan dari aktivitas pengiriman *forklift* sangat bervariasi berdasarkan asal negara pengirim. Dari hasil analisis, jejak karbon rata-rata pengiriman dari Jepang (rute Nagoya-Subang) adalah sebesar 3.639,04 kg CO_2e /ton-km. Pengiriman dari Swedia (rute Gothenburg-Tj Priok) menghasilkan rata-rata jejak karbon sebesar 4.265,83 kg CO_2e /ton-km. Pengiriman dari China (rute Shanghai-Tj Priok) memiliki jejak karbon tertinggi dengan rata-rata sebesar 8.956,98 kg CO_2e /ton-km. Sedangkan pengiriman dari Amerika Serikat (rute New York-Tj Priok) menghasilkan rata-rata jejak karbon sebesar 2.736,16 kg CO_2e /ton-km. Perbedaan ini mencerminkan berbagai faktor yang mempengaruhi besaran jejak karbon, seperti jarak tempuh yang bervariasi antara negara asal dan negara tujuan, serta perbedaan efisiensi energi dan teknologi kapal yang digunakan dalam proses pengiriman.
2. Hasil uji korelasi *spearman* menunjukkan adanya hubungan yang signifikan antara beban muatan, jarak tempuh, dan frekuensi terhadap jejak karbon yang dihasilkan. Berdasarkan analisis tersebut, terdapat hubungan signifikan yang kuat antara jarak tempuh dan beban muatan. Sedangkan untuk faktor frekuensi pengiriman tetap memiliki hubungan signifikan akan tetapi bersifat lemah. Hasil uji heteroskedastisitas menggunakan *scatterplot* menunjukkan pola yang acak tanpa adanya heteroskedastisitas, mengindikasikan bahwa model regresi yang digunakan cukup ideal dan tidak ada varians residual yang menunjukkan pola tertentu. Hal ini menegaskan bahwa faktor jarak tempuh, beban muatan, dan frekuensi pengiriman yang merupakan determinan utama

dalam besaran jejak karbon yang dihasilkan dalam proses pengiriman *forklift*.

5.2 Saran

Penulis menyadari bahwa masih terdapat banyak kekurangan pada penelitian ini dan melihat bahwa penelitian ini memiliki potensi untuk dilakukan pengembangan lebih lanjut. Oleh karena itu, penulis memberikan saran yang dapat dilakukan apabila dilakukan penelitian yang serupa dengan topik penelitian ini, yaitu sebagai berikut:

1. Perhitungan jejak karbon pada pengiriman *forklift* dalam penelitian ini dapat dilakukan menggunakan metode IPCC Tier 2. Hal ini disebabkan karena Tier 2 menggunakan faktor emisi yang lebih spesifik (termasuk faktor oksidasi pembakaran), sementara Tier 1 hanya menggunakan data faktor emisi default. Meskipun penggunaan Tier 2 akan menghasilkan nilai yang lebih akurat, metode ini memerlukan lebih banyak data pendukung dibandingkan dengan Tier 1. Oleh karena itu, perlu dipertimbangkan lebih lanjut apabila ingin menghitung jejak karbon yang relevan dengan topik ini menggunakan metode Tier 2.
2. Penelitian ini menggunakan metode (*distance based*) dengan data primer yang diperoleh dari hasil testimonial (ingatan responden), sehingga mengurangi kevalidan hasil perhitungan. Oleh karena itu, diperlukan pertimbangan lebih lanjut jika menggunakan metode ini dalam perhitungan GHG untuk penelitian selanjutnya.
3. Dalam pengambilan sampel, diperlukan strategi khusus untuk meminimalkan bias meskipun data diperoleh melalui wawancara, terutama jika ingin melakukan penelitian lebih lanjut terkait besaran emisi jejak karbon.

DAFTAR PUSTAKA

- Amin, A., Altinoz, B. & Dogan, E. Analyzing the determinants of carbon emissions from transportation in European countries: the role of renewable energy and urbanization. *Clean Techn Environ Policy* 22, 1725–1734 (2020). <https://doi.org/10.1007/s10098-020-01910-2>
- Arya, V. P., Vinod, A. P., & Babu, P. K. S. (2022). Carbon footprint levels and recommendations for sustainable shipping industry. *Sustainability, Agri, Food and Environmental Research*, 12(Ahead of Print 2). <https://doi.org/10.7770/safer-V12N1-art2765>
- Aseel, S., et al. (2021). A model for estimating the carbon footprint of maritime transportation of Liquefied Natural Gas under uncertainty. *Sustainable Production and Consumption*, 27, 1602-1613. <https://doi.org/10.1016/j.spc.2021.04.002>
- Ananda, R., & Fadhli, M. (2018). Statistik Pendidikan (Teori dan Praktik dalam Pendidikan) (Vol. 3322018). CV. Pusdikra Mitra Jaya/CV. Widya Puspita.
- CarbonCare. (2023, November). *Global CO2 Calculator for Transport and Logistics*. Retrieved from <https://www.carboncare.org/co2-emissions-rechner>
- CNBC Indonesia Research. (2023, Juli). *Perubahan Iklim Jadi Monster Mengerikan, Dunia Rugi Triliunan*. Retrieved from <https://www.cnbcindonesia.com/research/20230706115636-128-451858/perubahan-iklim-jadi-monster-mengerikan-dunia-rugi-triliunan>
- DEFRA. (2022). *Guidelines to DEFRA's / DECC's Greenhouse Gas Conversion Factors for company reporting*. Retrieved from <https://www.gov.uk/government/publications/greenhouse-gas-reporting-conversion-factors-2022>
- EDGAR. (2023). *GHG emissions of all world countries 2023 Report*. Retrieved from https://edgar.jrc.ec.europa.eu/report_2023#emissions_table

- EPA. (2022). *US EPA Climate Leaders*. Retrieved from http://www.epa.gov/climateleaders/documents/resources/mobilesource_guidance.pdf
- EPA. (2023). *Greenhouse Gas Emission :Understanding Global Warming Potentials*. Retrieved from <https://www.epa.gov/ghgemissions/understanding-global-warming-potentials>
- EPA. (2023). *Overview of Greenhouse Gases*. Retrieved from <https://www.epa.gov/ghgemissions/overview-greenhouse-gases#overview>
- GHG Protocol. (2015). *Corporate Value Chain (Scope 3) Accounting and Reporting Standard*. World Resource Institute.
- GHG Protocol. (2015). *GHG Protocol Scope 2 Guidance*. World Resource Institute.
- GHG Protocol. (2023, November 12). *GREENHOUSE GAS PROTOCOL*. Retrieved from <https://ghgProtocol.org/about-us>
- Ghozali, I. (2016) *Aplikasi Analisis Multivariete Dengan Program IBM SPSS 23*. Edisi 8. Semarang: Badan Penerbit Universitas Diponegoro.
- Hao, H., Geng, Y., Li, W., & et.al. (2015). Energy Consumption and GHG Emissions from China's Freight Transport Sector: Scenarios through 2050. *Energy Policy Volume 85*, 94-101.
- IEA.org. (2023, November). *The world's top 1% of emitters produce over 1000 times more CO2 than the bottom 1%*. Retrieved from <https://www.iea.org/commentaries/the-world-s-top-1-of-emitters-produce-over-1000-times-more-co2-than-the-bottom-1>
- IESR. (2023). *IEVO 2023: Elektrifikasi Transportasi Demi Tekan Emisi GRK*. Retrieved from <https://iesr.or.id/tag/transportasi-penyumbang-emisi>
- Innovation Center for U.S Dairy. (2019). *Scope 1 & 2 GHG Inventory Guidance: Use to prepare a GHG inventory and quantify emissions*. GHG Protocol.
- IPCC. (2018). *Global Warming of 1.5°C*. Intergovernmental Panel on Climate Change.
- IPCC. (2023). *Climate Change 2023: Synthesis Report Summary for Policymaker*.
- Kementerian ESDM RI. (2019). *Outlook Energi Indonesia*.

- Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan. (2018). *Mengukur dan Reduksi Gas Rumah Kaca*. Retrieved from Perpustakaan Emil Salim Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan: http://perpustakaan.menlhk.go.id/pustaka/home/index.php?page=detail_news&newsid=474#:~:text=Gas%2Dgas%20rumah%20kaca%20itu,dan%20bahan%20bakar%20organik%20lain.
- Lee, P. T. W., Kwon, O. K., & Ruan, X. (2019). Sustainability Challenges in Maritime Transport and Logistics Industry and Its Way Ahead. *Sustainability*, 11(5), 1331. <https://doi.org/10.3390/su11051331>
- Misra, A., et al. (2017). GHG emission accounting and mitigation strategies to reduce the carbon footprint in conventional port activities – a case of the Port of Chennai. *Carbon Management*, 8(1), 45–56. <https://doi.org/10.1080/17583004.2016.1275815>
- NationalGrid. (2023). *What are Greenhouse Gases?* Retrieved from [https://www.nationalgrid.com/stories/energy-explained/what-are-greenhousegases#:~:text=Greenhouse%20gases%20\(also%20known%20as,greenhouse%20gases%20in%20the%20atmosphere](https://www.nationalgrid.com/stories/energy-explained/what-are-greenhousegases#:~:text=Greenhouse%20gases%20(also%20known%20as,greenhouse%20gases%20in%20the%20atmosphere).
- NGVAMERICA. (2018). *Understanding Global Warming Potential and Other Greenhouse Gas Emission Metrics*. USA: NGVAMERICA.
- Olmer, N., Comer, B., Roy, B., Mao, X. and Rutherford, D. (2017) *Greenhouse gas emissions from global shipping, 2013–2015*. International Council on Clean Transportation (ICCT). Retrieved from <https://theicct.org/publications/GHG-emissions-global-shipping-2013-2015>.
- Palmetto. (2023). *What is Climate Change?* Retrieved from Clean Energy: <https://palmetto.com/learning-center/blog/what-is-climate-change-definition-causes-effects>
- Panagakos G, Pessôa TdS, Dessypris N, Barfod MB, Psaraftis HN. Monitoring the Carbon Footprint of Dry Bulk Shipping in the EU: An Early Assessment of the MRV Regulation. *Sustainability*. 2019; 11(18):5133. <https://doi.org/10.3390/su11185133>
- Schober, Patrick & Boer, Christa & Schwarte, Lothar. (2018). Correlation Coefficients: Appropriate Use and Interpretation. *Anesthesia & Analgesia*. 126. 1.10.1213/ANE.0000000000002864.
- Smith, T.W.P., Jalkanen, J.P., Anderson, B.A., Corbett, J.J., Faber, J., Hanayama, S. and Pandey, A. (2015) *Third IMO GHG Study 2014*. International Maritime Organization (IMO).

- International Maritime Organization. (2020). Fourth IMO Greenhouse Gas Study 2020. Retrieved from <https://www.imo.org/en/OurWork/Environment/Pages/Fourth-IMO-Greenhouse-Gas-Study-2020.aspx>
- World Resources Institute. (2020). *Climate Watch*. Retrieved from <https://www.climatewatchdata.org/>
- World Resources Institute. (2023). *Corporate Value Chain (Scope 3) Accounting and Reporting Standard*. WRI.

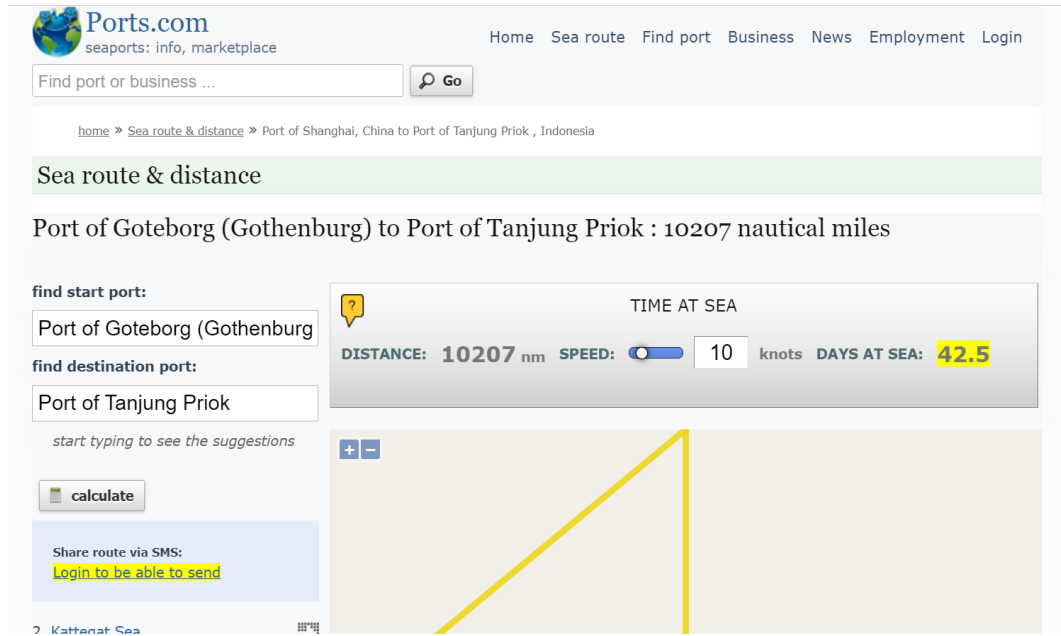
LAMPIRAN

LAMPIRAN I: DOKUMENTASI WAWANCARA





LAMPIRAN II: JARAK PENGIRIMAN *FORKLIFT*



Ports.com
seaports: info, marketplace

Home Sea route Find port Business News Employment Login

Find port or business ...

home » Sea route & distance » Port of Shanghai, China to Port of Tanjung Priok , Indonesia

Sea route & distance

Port of Goteborg (Gothenburg) to Port of Tanjung Priok : 10207 nautical miles

find start port:

find destination port:

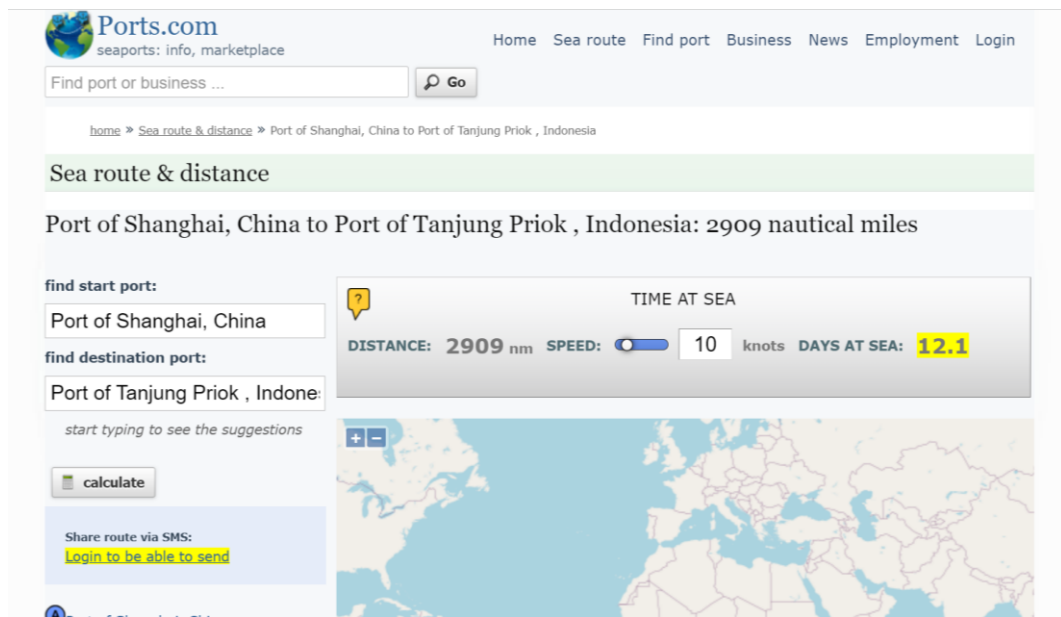
start typing to see the suggestions

Share route via SMS:
[Login to be able to send](#)

2 Kattenat Sea

TIME AT SEA

DISTANCE: 10207 nm SPEED: 10 knots DAYS AT SEA: 42.5

Ports.com
seaports: info, marketplace

Home Sea route Find port Business News Employment Login

Find port or business ...

home » Sea route & distance » Port of Shanghai, China to Port of Tanjung Priok , Indonesia

Sea route & distance

Port of Shanghai, China to Port of Tanjung Priok , Indonesia: 2909 nautical miles

find start port:

find destination port:

start typing to see the suggestions

Share route via SMS:
[Login to be able to send](#)

TIME AT SEA

DISTANCE: 2909 nm SPEED: 10 knots DAYS AT SEA: 12.1



Ports.com
seaports: info, marketplace

Home Sea route Find port Business News Employment Login

Find port or business ...

home » Sea route & distance » Port of Shanghai, China to Port of Tanjung Priok, Indonesia

Sea route & distance

Port of New York to Port of Tanjung Priok : 11567 nautical miles

find start port:

find destination port:

start typing to see the suggestions

Share route via SMS:
[Login to be able to send](#)

2. North Atlantic Ocean

TIME AT SEA

DISTANCE: **11567** nm SPEED: 10 knots DAYS AT SEA: **48.2**

Local Vessel	From
Ocean Vessel	Voy. No. 103
TRANS HARMONY 1	Port of Loading NAGOYA, JAPAN
Port of Discharge	For transhipment to (If on-carriage)
SUBANG	

Weight of all cargoes (Ton)	31.808
NGY-PTB Distance (Km)	10305

LAMPIRAN III: KETERANGAN SETIAP JENIS *VESSEL*

SIEM CURIE (IMO: 9434319) is a **Vehicles Carrier** registered and sailing under the flag of Liberia. Her gross tonnage is **43810** and deadweight is **15154**. SIEM CURIE was built in **2009**. SIEM CURIE length overall (LOA) is **180** m, beam is **30** m. Her container capacity is **0** TEU. The ship is operated by **SIEM CAR CARRIERS AS**.

TRANS HARMONY 2 (IMO: 9788851) is a **Vehicles Carrier** registered and sailing under the flag of Panama. Her gross tonnage is **50305** and deadweight is **12993**. TRANS HARMONY 2 was built in **2018**. TRANS HARMONY 2 length overall (LOA) is **199.99** m, beam is **32.2** m. Her container capacity is **0** TEU. The ship is operated by **TOYOFUJI SHIPPING CO LTD**.

SIEM COPERNICUS (IMO: 9448073) is a **Vehicles Carrier** registered and sailing under the flag of  **Singapore**. Her gross tonnage is **43810** and deadweight is **15154**. SIEM COPERNICUS was built in **2010**. SIEM COPERNICUS length overall (LOA) is **180** m, beam is **30** m. Her container capacity is **0** TEU. The ship is operated by **SIEM SHIP MANAGEMENT SP Z OO**.

ASIAN EXPLORER (IMO: 9392145) is a **Bulk Carrier** registered and sailing under the flag of  **Marshall Islands**. Her gross tonnage is **9865** and deadweight is **16656**. ASIAN EXPLORER was built in **2009**. ASIAN EXPLORER length overall (LOA) is **134.93** m, beam is **23** m. Her container capacity is **0** TEU. The ship is operated by **PACIFIC SHIP MANAGEMENT CO LTD**.

ELBSPRINTER (IMO: 9349215) is a **Container Ship** registered and sailing under the flag of  **Cyprus**. Her gross tonnage is **7720** and deadweight is **9526**. ELBSPRINTER was built in **2007**. ELBSPRINTER length overall (LOA) is **141.58** m, beam is **20.6** m. Her container capacity is **809** TEU. The ship is operated by **USC BARNKRUG GMBH & CO KG**.

ONE TRADITION (IMO: 9769300) is a **Container Ship** registered and sailing under the flag of  **Japan**. Her gross tonnage is **213633** and deadweight is **196324**. ONE TRADITION was built in **2017**. ONE TRADITION length overall (LOA) is **400** m, beam is **58.8** m. Her container capacity is **20170** TEU. The ship is operated by **MITSUI OSK LINES LTD**.

MAIKE D (IMO: 9226372) is a **Container Ship** registered and sailing under the flag of  **Liberia**. Her gross tonnage is **6326** and deadweight is **7944**. MAIKE D was built in **2000**. MAIKE D length overall (LOA) is **133.24** m, beam is **18.7** m. Her container capacity is **660** TEU. The ship is operated by **DREVIN BEREEDERUNGS**.

MILAN MAERSK (IMO: 9778820) is a **Container Ship** registered and sailing under the flag of  **Denmark**. Her gross tonnage is **214286** and deadweight is **190326**. MILAN MAERSK was built in **2017**. MILAN MAERSK length overall (LOA) is **399** m, beam is **58.6** m. Her container capacity is **19630** TEU. The ship is operated by **MAERSK LINE A/S**.

MURCIA MAERSK (IMO: 9780457) is a **Container Ship** registered and sailing under the flag of  **Denmark**. Her gross tonnage is **214286** and deadweight is **190326**. MURCIA MAERSK was built in **2018**. MURCIA MAERSK length overall (LOA) is **399** m, beam is **58.6** m. Her container capacity is **19630** TEU. The ship is operated by **MAERSK LINE A/S**.

MUNICH MAERSK (IMO: 9778806) is a **Container Ship** registered and sailing under the flag of  **Denmark**. Her gross tonnage is **214286** and deadweight is **190326**. **MUNICH MAERSK** was built in **2017**. **MUNICH MAERSK** length overall (LOA) is **399** m, beam is **58.6** m. Her container capacity is **19630** TEU. The ship is operated by **MAERSK LINE A/S**.

MSC MARIA PIA (IMO: 9155107) is a **Container Ship** registered and sailing under the flag of  **Panama**. Her gross tonnage is **29300** and deadweight is **40100**. **MSC MARIA PIA** was built in **1997**. **MSC MARIA PIA** length overall (LOA) is **195.72** m, beam is **32.25** m. Her container capacity is **2808** TEU. The ship is operated by **MSC MEDITERRANEAN SHIPPING CO.**

CMA CGM CORAL (IMO: 9350393) is a **Container Ship** registered and sailing under the flag of  **Malta**. Her gross tonnage is **49810** and deadweight is **62214**. **CMA CGM CORAL** was built in **2008**. **CMA CGM CORAL** length overall (LOA) is **280** m, beam is **32.2** m. Her container capacity is **4367** TEU. The ship is operated by **CMA CGM SA THE FRENCH LINE**.

YM EFFICIENCY (IMO: 9353280) is a **Container Ship** registered and sailing under the flag of  **Liberia**. Her gross tonnage is **42741** and deadweight is **52773**. **YM EFFICIENCY** was built in **2009**. **YM EFFICIENCY** length overall (LOA) is **268.8** m, beam is **32.2** m. Her container capacity is **4250** TEU. The ship is operated by **YANG MING MARINE TRANSPORT**.

HAPPY LUCKY (IMO: 9363405) is a **Container Ship** registered and sailing under the flag of  **Liberia**. Her gross tonnage is **27104** and deadweight is **33406**. **HAPPY LUCKY** was built in **2008**. **HAPPY LUCKY** length overall (LOA) is **199.93** m, beam is **32.2** m. Her container capacity is **2553** TEU. The ship is operated by **PACIFIC INTERNATIONAL LINES**.

ZIM ASIA (IMO: 9464716) is a **Container Ship** registered and sailing under the flag of  **Liberia**. Her gross tonnage is **42110** and deadweight is **54308**. **ZIM ASIA** was built in **2010**. **ZIM ASIA** length overall (LOA) is **260** m, beam is **32.2** m. Her container capacity is **4395** TEU. The ship is operated by **HAMMONIA REEDEREI GMBH**.

XIN BEI LUN (IMO: 9309966) is a **Container Ship** registered and sailing under the flag of  **China**. Her gross tonnage is **41482** and deadweight is **52223**. XIN BEI LUN was built in **2005**. XIN BEI LUN length overall (LOA) is **263.23** m, beam is **32.2** m. Her container capacity is **4250** TEU. The ship is operated by **PANASIA SHIPPING CO LTD**.

SEASPAN LUMACO (IMO: 9443487) is a **Container Ship** registered and sailing under the flag of  **Hong Kong**. Her gross tonnage is **40541** and deadweight is **50245**. SEASPAN LUMACO was built in **2009**. SEASPAN LUMACO length overall (LOA) is **261.1** m, beam is **32.35** m. Her container capacity is **4250** TEU. The ship is operated by **SEASPAN SHIP MANAGEMENT LTD**.

EVER OPUS (IMO: 9913872) is a **Container Ship** registered and sailing under the flag of  **Panama**. Her gross tonnage is **27025** and deadweight is **33577**. EVER OPUS was built in **2022**. EVER OPUS length overall (LOA) is **194** m, beam is **32** m. Her container capacity is **2476** TEU. The ship is operated by **SHOEI KISEN KK**.

LORRAINE (IMO: 9311763) is a **Container Ship** registered and sailing under the flag of  **Liberia**. Her gross tonnage is **27786** and deadweight is **37800**. LORRAINE was built in **2006**. LORRAINE length overall (LOA) is **221.74** m, beam is **29.8** m. Her container capacity is **2742** TEU. The ship is operated by **XT MANAGEMENT LTD**.

COSCO HOUSTON (IMO: 9484273) is a **Container Ship** registered and sailing under the flag of  **Hong Kong**. Her gross tonnage is **40447** and deadweight is **49920**. COSCO HOUSTON was built in **2012**. COSCO HOUSTON length overall (LOA) is **261.09** m, beam is **32.3** m. Her container capacity is **4249** TEU. The ship is operated by **COSCO SHIPPING LINES CO LTD**.

SIEM COPERNICUS (IMO: 9448073) is a **Vehicles Carrier** registered and sailing under the flag of  **Singapore**. Her gross tonnage is **43810** and deadweight is **15154**. SIEM COPERNICUS was built in **2010**. SIEM COPERNICUS length overall (LOA) is **180** m, beam is **30** m. Her container capacity is **0** TEU. The ship is operated by **SIEM SHIP MANAGEMENT SP Z OO**.

TS MUNDRA (IMO: 9953834) is a **Container Ship** registered and sailing under the flag of  **Marshall Islands**. Her gross tonnage is **29658** and deadweight is **37407**. TS MUNDRA was built in **2023**. TS MUNDRA length overall (LOA) is **186** m, beam is **35** m. Her container capacity is **0** TEU. The ship is operated by **TS LINES LTD**.

PONTRESINA (IMO: 9334521) is a **Container Ship** registered and sailing under the flag of  **Liberia**. Her gross tonnage is **28270** and deadweight is **32949**. PONTRESINA was built in **2008**. PONTRESINA length overall (LOA) is **213** m, beam is **32.2** m. Her container capacity is **2646** TEU. The ship is operated by **LAEISZ REEDEREI**.

EVER LOVELY (IMO: 9629110) is a **Container Ship** registered and sailing under the flag of  **Singapore**. Her gross tonnage is **101063** and deadweight is **104357**. EVER LOVELY was built in **2015**. EVER LOVELY length overall (LOA) is **334.8** m, beam is **45.8** m. Her container capacity is **8488** TEU. The ship is operated by .

YM WITNESS (IMO: 9704609) is a **Container Ship** registered and sailing under the flag of  **Hong Kong**. Her gross tonnage is **145324** and deadweight is **145388**. YM WITNESS was built in **2015**. YM WITNESS length overall (LOA) is **368** m, beam is **51** m. Her container capacity is **13892** TEU. The ship is operated by **SEASPAN SHIP MANAGEMENT LTD**.

ANINA (IMO: 9354351) is a **Container Ship** registered and sailing under the flag of  **Portugal**. Her gross tonnage is **11662** and deadweight is **13720**. ANINA was built in **2006**. ANINA length overall (LOA) is **149.14** m, beam is **22.5** m. Her container capacity is **868** TEU. The ship is operated by **DT-BEREEDERUNGS GMBH & CO KG**.

LAMPIRAN IV: DATA PENGIRIMAN *FORKLIFT* JULI-DESEMBER 2023

Negara	Nama Kapal	Berat (kg)	Tanggal Pengiriman
China	CMA CGM CORAL	77.380	11-Jul-23
China	YM EFFICIENCY	62.425	26-Jul-23
China	ZIM ASIA	127.220	12-Aug-23
China	XIN BEI LUN	140.265	27-Sep-23
China	SEASPAN LUMACO	6.400	21-Oct-23
China	XIN BEI LUN	115.440	24-Oct-23
China	SIEM COPERNICUS	16.684	7-Nov-23
China	XIN BEI LUN	125.445	22-Nov-23
China	LORRAINE	91.830	29-Nov-23
China	COSCO HAIFA	112.590	6-Dec-23
China	TS MUNDRA	79.695	13-Dec-23
China	XIN BEI LUN	126.700	20-Dec-23
China	LORRAINE	82.560	30-Dec-23
China	PONTRESINA	83.215	26-Dec-23
Jepang	SIEM CURIE	57.915	4-Jul-23
Jepang	TRANS HARMONY 2	122.665	11-Jul-23
Jepang	ASIAN EXPLORER	102.759	18-Jul-23
Jepang	SIEM COPERNICUS	89.888	25-Jul-23
Jepang	TRANS HARMONY 1	54.053	1-Aug-23
Jepang	SIEM CURIE	41.643	8-Aug-23
Jepang	TRANS HARMONY 2	21.637	17-Aug-23

Negara	Nama Kapal	Berat (kg)	Tanggal Pengiriman
Jepang	ASIAN EXPLORER	23.866	23-Aug-23
Jepang	SIEM COPERNICUS	47.102	29-Aug-23
Jepang	TRANS HARMONY 1	9.224	5-Sep-23
Jepang	SIEM CURIE	57.416	12-Sep-23
Jepang	TRANS HARMONY 2	13.823	19-Sep-23
Jepang	ASIAN EXPLORER	18.292	26-Sep-23
Jepang	SIEM COPERNICUS	9.235	3-Oct-23
Jepang	TRANS HARMONY 1	51.927	10-Oct-23
Jepang	SIEM CURIE	53.176	17-Oct-23
Jepang	TRANS HARMONY 2	41.984	24-Oct-23
Jepang	ASIAN EXPLORER	32.210	31-Oct-23
Jepang	TRANS HARMONY 1	32.175	14-Nov-23
Jepang	TRANS HARMONY 2	41.874	28-Nov-23
Jepang	SIEM CURIE	22.721	21-Nov-23
Jepang	ASIAN EXPLORER	32.770	5-Dec-23
Jepang	SIEM COPERNICUS	40.004	12-Dec-23
Jepang	TRANS HARMONY 1	40.979	19-Dec-23
Swedia	ELBSPRINTER	10.661	11-Jul-23
Swedia	ONE TRADITION	11.087	23-Jul-23
Swedia	MAIKE D	8.199	6-Sep-23
Swedia	MILAN MAERSK	11.494	31-Oct-23
Swedia	ANINA	7.395	2-Nov-23

Negara	Nama Kapal	Berat (kg)	Tanggal Pengiriman
Swedia	MURCIA MAERSK	10.761	30-Nov-23
Swedia	MUNICH MAERSK	9.734	10-Dec-23
Swedia	MSC MARIA PIA	10.424	26-Dec-23
Amerika Serikat	EVER LOVELY	11.730	4-Nov-23
Amerika Serikat	YM WITNESS	8.455	8-Dec-23

LAMPIRAN V: HASIL PERHITUNGAN JEJAK KARBON (DISTANCE BASED)

Lampiran V (A) : Perhitungan Jejak Karbon dari Jepang

JULI 2023					
Negara	Berat muatan (ton)	distance (nm)	jarak yang ditempuh dalam perjalanan (km)	<i>emission factor of transport mode or vehicle type (kg CO2 e/ton-km)</i>	Emisi dari transportasi laut (kgCO2e):
Jepang (Nagoya-Subang)	373	-	10305	0,00799828	30.762
Total Emisi yang Dihasilkan					30.762

AGUSTUS 2023					
Negara	Berat muatan (ton)	distance (nm)	jarak yang ditempuh dalam perjalanan (km)	<i>emission factor of transport mode or vehicle type (kg CO2 e/ton-km)</i>	Emisi dari transportasi laut (kgCO2e):
Jepang (Nagoya-Subang)	188	-	10305	0,00799828	15.520
Total Emisi yang Dihasilkan					15.520

SEPTEMBER 2023					
Negara	Berat muatan (ton)	distance (nm)	jarak yang ditempuh dalam perjalanan (km)	<i>emission factor of transport mode or vehicle type (kg CO2 e/ton-km)</i>	Emisi dari transportasi laut (kgCO2e):
Jepang (Nagoya-Subang)	99	-	10305	0,00799828	8.140
Total Emisi yang Dihasilkan					8.140

OKTOBER 2023					
Negara	Berat muatan (ton)	distance (nm)	jarak yang ditempuh dalam perjalanan (km)	<i>emission factor of transport mode or vehicle type</i> (kg CO2 e/ton-km)	Emisi dari transportasi laut (kgCO2e):
Jepang (Nagoya-Subang)	189	-	10305	0,00799828	15.539
Total Emisi yang Dihasilkan					15.539

NOVEMBER 2023					
Negara	Berat muatan (ton)	distance (nm)	jarak yang ditempuh dalam perjalanan (km)	<i>emission factor of transport mode or vehicle type</i> (kg CO2 e/ton-km)	Emisi dari transportasi laut (kgCO2e):
Jepang (Nagoya-Subang)	97	-	10305	0,00799828	7.976
Total Emisi yang Dihasilkan					7.976

DESEMBER 2023					
Negara	Berat muatan (ton)	distance (nm)	jarak yang ditempuh dalam perjalanan (km)	<i>emission factor of transport mode or vehicle type</i> (kg CO2 e/ton-km)	Emisi dari transportasi laut (kgCO2e):
Jepang (Nagoya-Subang)	114	-	10305	0,00799828	9.376
Total Emisi yang Dihasilkan					9.376

Lampiran V (B) : Perhitungan Jejak Karbon dari Swedia

JULI 2023					
Negara	Berat muatan (ton)	distance (nm)	jarak yang ditempuh dalam perjalanan (km)	<i>emission factor of transport mode or vehicle type (kg CO₂ e/ton-km)</i>	Emisi dari transportasi laut (kgCO ₂ e):
Swedia (Gothenburg-Tj Priok)	10,7	10207	18903	0,036751615	7.406,51
	11,1	10207	18903	0,020248599	4.243,73
Total Emisi yang Dihasilkan					11.650,24

SEPTEMBER 2023					
Negara	Berat muatan (ton)	distance (nm)	jarak yang ditempuh dalam perjalanan (km)	<i>emission factor of transport mode or vehicle type (kg CO₂ e/ton-km)</i>	Emisi dari transportasi laut (kgCO ₂ e):
Swedia (Gothenburg-Tj Priok)	8,2	10207	18903	0,036751615	5.696
Total Emisi yang Dihasilkan					5.696

NOVEMBER 2023					
Negara	Berat muatan (ton)	distance (nm)	jarak yang ditempuh dalam perjalanan (km)	<i>emission factor of transport mode or vehicle type (kg CO₂ e/ton-km)</i>	Emisi dari transportasi laut (kgCO ₂ e):
Swedia (Gothenburg-Tj Priok)	10,8	10207	18903	0,012655654	2.574
	7	10207	18903	0,036751615	5.138
Total Emisi yang Dihasilkan					10.286

OKTOBER 2023					
Negara	Berat muatan (ton)	distance (nm)	jarak yang ditempuh dalam perjalanan (km)	<i>emission factor of transport mode or vehicle type (kg CO₂ e/ton-km)</i>	Emisi dari transportasi laut (kgCO ₂ e):
Swedia (Gothenburg-Tj Priok)	11,5	10207	18903	0,012655654	2.750
Total Emisi yang Dihasilkan					2.750

DESEMBER 2023					
Negara	Berat muatan (ton)	distance (nm)	jarak yang ditempuh dalam	<i>emission factor of transport mode or vehicle type</i> (kg CO2	Emisi dari transportasi laut
Swedia (Gothenburg-Tj Priok)	9,7	10207	18903	0,012655654	2.329
	10,4	10207	18903	0,020248599	3.990
Total Emisi yang Dihasilkan					6.319

Lampiran V (C) : Perhitungan Jejak Karbon dari China

JULI 2023					
Negara	Berat muatan (ton)	distance (nm)	jarak yang ditempuh dalam perjalanan (km)	<i>emission factor of transport mode or vehicle type</i> (kg CO2 e/ton-km)	Emisi dari transportasi laut (kgCO2e):
China (Shanghai-Tj Priok)	487	2909	5387	0,016806573	44.072,27
	91	2909	5387	0,020248599	9.882,34
Total Emisi yang Dihasilkan					53.954,61

AGUSTUS 2023					
Negara	Berat muatan (ton)	distance (nm)	jarak yang ditempuh dalam perjalanan (km)	<i>emission factor of transport mode or vehicle type</i> (kg CO2 e/ton-km)	Emisi dari transportasi laut (kgCO2e):
China (Shanghai-Tj Priok)	249	2909	5387	0,016806573	22.538
Total Emisi yang Dihasilkan					22.538

SEPTEMBER 2023					
Negara	Berat muatan (ton)	distance (nm)	jarak yang ditempuh dalam perjalanan (km)	<i>emission factor of transport mode or vehicle type</i> (kg CO ₂ e/ton-km)	Emisi dari transportasi laut (kgCO ₂ e):
China (Shanghai-Tj Priok)	208	2909	5387	0,016806573	18.863
Total Emisi yang Dihasilkan					18.863

OKTOBER 2023					
Negara	Berat muatan (ton)	distance (nm)	jarak yang ditempuh dalam perjalanan (km)	<i>emission factor of transport mode or vehicle type</i> (kg CO ₂ e/ton-km)	Emisi dari transportasi laut (kgCO ₂ e):
China (Shanghai-Tj Priok)	221	2909	5387	0,016806573	20.028
	265	2909	5387	0,020248599	28.943
Total Emisi yang Dihasilkan					48.971

NOVEMBER 2023					
Negara	Berat muatan (ton)	distance (nm)	jarak yang ditempuh dalam perjalanan (km)	<i>emission factor of transport mode or vehicle type</i> (kg CO ₂ e/ton-km)	Emisi dari transportasi laut (kgCO ₂ e):
China (Shanghai-Tj Priok)	289	2909	5387	0,016806573	26.135
	17	2909	5387	0,036751615	3.303
	92	2909	5387	0,020248599	10.018
Total Emisi yang Dihasilkan					39.456

DESEMBER 2023					
Negara	Berat muatan (ton)	distance (nm)	jarak yang ditempuh dalam	<i>emission factor of transport mode or vehicle type</i> (kg CO2	Emisi dari transportasi laut
China (Shanghai-Tj Priok)	239	2909	5387	0,016806573	21.666
	80	2909	5387	0,036751615	15.779
	166	2909	5387	0,020248599	18.084
Total Emisi yang Dihasilkan					55.530

Lampiran V (D) : Perhitungan Jejak Karbon dari Amerika Serikat

NOVEMBER 2023					
Negara	Berat muatan (ton)	distance (nm)	jarak yang ditempuh dalam perjalanan (km)	<i>emission factor of transport mode or vehicle type</i> (kg CO2 e/ton-km)	Emisi dari transportasi laut (kgCO2e):
Amerika Serikat (New York-Tj Priok)	11,7	11567	21422	0,012655654	3.180
Total Emisi yang Dihasilkan					3.180

DESEMBER 2023					
Negara	Berat muatan (ton)	distance (nm)	jarak yang ditempuh dalam perjalanan (km)	<i>emission factor of transport mode or vehicle type</i> (kg CO2 e/ton-km)	Emisi dari transportasi laut (kgCO2e):
USA (New York-Tj Priok)	8,5	11567	21422	0,012655654	2.292
Total Emisi yang Dihasilkan					2.292

Lampiran V (E) : Hasil Perhitungan Jejak Karbon Tiap Negara

Negara	Hasil Emisi yang Dihasilkan (kg CO ₂ e/ton-km)					
	Juli 2023	Agustus 2023	September 2023	Oktober 2023	November 2023	Desember 2023
Jepang (Nagoya-Subang)	30762,22	15520,20	8139,61	15539,24	7976,00	9375,78
Swedia (Gothenburg-Tj Priok)	11650,24	0,00	0,00	2749,76	2574,40	6318,67
China (Shanghai-Tj Priok)	53954,61	22537,98	18862,76	48971,03	39455,80	55530,12
Amerika Serikat (New York-Tj Priok)	0,00	0,00	0,00	0,00	3180,10	2292,23

LAMPIRAN VI UJI STATISTIK

Lampiran VI (A): Input data dari pengiriman *forklift* pada SPSS

The screenshot displays two windows from the IBM SPSS Statistics Processor: 'Data View' and 'Variable View'.

Data View: Shows a dataset with 21 rows (cases) and 4 variables (X1, X2, X3, Y). The data is as follows:

	X1	X2	X3	Y
1	10305,00	57,92	1,00	4773,49
2	10305,00	122,67	1,00	10110,33
3	10305,00	102,76	1,00	8469,63
4	10305,00	89,89	1,00	7408,77
5	10305,00	57,92	1,00	4455,17
6	10305,00	122,67	1,00	3432,31
7	10305,00	102,76	1,00	1783,37
8	10305,00	89,89	1,00	1967,09
9	10305,00	54,05	1,00	3882,25
10	10305,00	41,64	1,00	760,26
11	10305,00	21,64	1,00	4732,36
12	10305,00	23,87	1,00	1139,32
13	10305,00	47,10	1,00	1507,67
14	10305,00	9,22	1,00	761,17
15	10305,00	57,42	1,00	4279,94
16	10305,00	13,82	1,00	4382,89
17	10305,00	18,29	1,00	3460,42
18	10305,00	9,24	1,00	2654,82
19	10305,00	51,93	1,00	2651,94
20	10305,00	53,18	1,00	3451,35
21	10305,00	44,98	1,00	4872,72

Variable View: Shows the properties of the four variables:

	Name	Type	Width	Decimals	Label	Values	Missing	Columns	Align	Measure	Role
1	X1	Numeric	8	2	Jarak Tempuh (km)	None	None	8	Right	Scale	Input
2	X2	Numeric	8	2	Beban Muatan (t...)	None	None	8	Right	Scale	Input
3	X3	Numeric	8	2	Frekuensi Pengir...	None	None	8	Right	Nominal	Input
4	Y	Numeric	8	2	Jejak Karbon	None	None	8	Right	Scale	Input

Lampiran VI (B): Uji Normalitas (Kalmogrov-Smirnov)

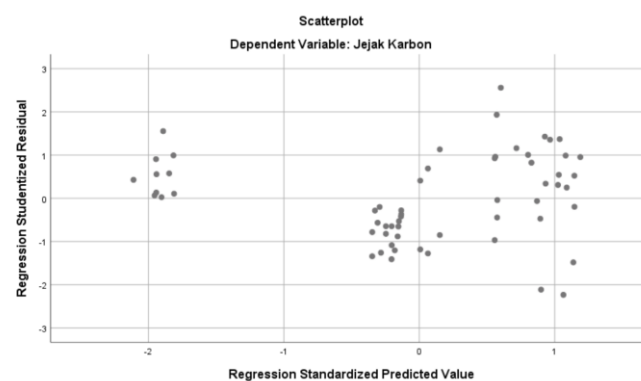
Tests of Normality						
	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
	Statistic	df	Sig.	Statistic	df	Sig.
Jarak Tempuh (km)	,284	60	,000	,758	60	,000
Beban Muatan (ton)	,119	60	,035	,916	60	,001
Jejak Karbon	,155	60	,001	,929	60	,002
Frekuensi Pengiriman	,467	60	,000	,539	60	,000

a. Lilliefors Significance Correction

Lampiran VII (C): Uji Korelasi *Spearman*

Correlations						
			Jarak Tempuh (km)	Beban Muatan (ton)	Frekuensi Pengiriman	Jejak Karbon
Spearman's rho	Jarak Tempuh (km)	Correlation Coefficient	1,000	-,810**	-,236	-,715**
		Sig. (2-tailed)	.	,000	,193	,000
		N	32	32	32	32
	Beban Muatan (ton)	Correlation Coefficient	-,810**	1,000	,165	,850**
		Sig. (2-tailed)	,000	.	,368	,000
		N	32	32	32	32
	Frekuensi Pengiriman	Correlation Coefficient	-,236	,165	1,000	,173
		Sig. (2-tailed)	,193	,368	.	,342
		N	32	32	32	32
	Jejak Karbon	Correlation Coefficient	-,715**	,850**	,173	1,000
		Sig. (2-tailed)	,000	,000	,342	.
		N	32	32	32	32

**. Correlation is significant at the 0.01 level (2-tailed).

Lampiran VII (D): Hasil *Scatterplot*

Coefficients ^a						
Model		Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.
		B	Std. Error	Beta		
1	(Constant)	,883	,437		2,022	,048
	Jarak Tempuh (km)	-3,391E-5	,000	-,153	-1,111	,271
	Beban Muatan (ton)	,000	,003	,016	,119	,906

a. Dependent Variable: RESIDUAL_2

RIWAYAT HIDUP

Penulis bernama lengkap Tiara Yayang Chairunnisa, lahir di Singkawang, 8 November 2001. Penulis merupakan anak ketiga dari tiga bersaudara pasangan Edy Kiswar, S.Pd. dan Dr. Eni Dewi Kurniawati, M.Pd. Adapun riwayat pendidikan penulis adalah TK Pembina (2006 – 2008), SD Negeri 6 Dalam Kaum (2008 – 2014), SMP Negeri 1 Sambas (2014 – 2017), SMA Negeri 1 Sambas (2017 – 2020) dan Universitas Islam Indonesia Program Studi Teknik Lingkungan Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan (2020 – 2024).

Berikut beberapa kegiatan yang pernah diikuti penulis selama menempuh pendidikan, baik kegiatan akademik maupun non akademik yaitu:

1. Wakil Ketua Umum Ikatan Mahasiswa Teknik Lingkungan Indonesia (IMTLI) 2022/2023.
2. Ketua *Tribe The Complete Intern* (TCI) CIMB Niaga *Batch 6*, dari program Magang dan Studi Independen Bersertifikat (MSIB) Kampus Merdeka.
3. *Public Relation* di *Society Renewable Energy* (SRE) Universitas Islam Indonesia 2022 – 2023.
4. *Career Buddy* di Direktorat Pengembangan Karir dan Alumni Universitas Islam Indonesia 2022 – 2023.
5. Finalis Mahasiswa Berprestasi Tingkat Universitas Islam Indonesia 2023.
6. Penerima Dana Hibah Program Kreativitas Mahasiswa Karsa Cipta (PKM-KC) 2021.
7. Asisten Praktikum, Asisten Dosen, Moderator, dan MC di Lingkungan Kampus.
8. Kepanitian dalam Kegiatan Kemahasiswaan, baik di Tingkat Program Studi, Fakultas, dan Universitas.