

Analisis Kinerja Operasional dan Intensitas Emisi Karbon Berdasarkan Utilisasi Kapasitas Berat pada Distribusi Less Than Truckload (LTL)

Talitha Hasnaa Salsabila¹, Yusep Sukrawan², Pebi Yuda Pratama³

^{1,3} Jurusan Teknik Logistik, Fakultas Pendidikan Teknik dan Industri, Universitas Pendidikan Indonesia

Jl. Dr. Setiabudi No. 229, Bandung, Jawa Barat, Indonesia 40154

Email: hasnaatalitha@upi.edu, pebi_yuda@upi.edu

² Jurusan Pendidikan Teknik Otomotif, Fakultas Pendidikan Teknik dan Industri, Universitas Pendidikan Indonesia

Jl. Dr. Setiabudi No. 229, Bandung, Jawa Barat, Indonesia 40154

Email: yusepsukrawan@upi.edu

ABSTRAK

Penelitian ini bertujuan menganalisis kinerja operasional distribusi Less Than Truckload (LTL) PT Herona Express pada rute Bandung–Pamulang melalui pengukuran utilisasi kapasitas berat kendaraan, perhitungan total emisi karbon dan intensitas emisi karbon, analisis hubungan antara utilisasi kapasitas berat dengan intensitas emisi karbon, serta perumusan strategi peningkatan utilisasi kapasitas kendaraan berdasarkan temuan penelitian. Penelitian menggunakan pendekatan kuantitatif deskriptif dengan data operasional aktual perusahaan selama periode April–Mei 2026 sebanyak 44 perjalanan. Utilisasi kapasitas berat dihitung berdasarkan perbandingan berat muatan terhadap kapasitas maksimum kendaraan, sedangkan emisi karbon dihitung menggunakan metode IPCC Tier 1 berdasarkan konsumsi bahan bakar solar. Hubungan antarvariabel dianalisis menggunakan korelasi Spearman. Hasil penelitian menunjukkan bahwa rata-rata utilisasi kapasitas berat kendaraan sebesar 44,17%, yang menunjukkan kapasitas angkut belum dimanfaatkan secara optimal. Total emisi karbon sebesar 134,00 kgCO₂/trip, sedangkan rata-rata intensitas emisi karbon mencapai 0,258 kgCO₂/ton-km dengan rentang 0,082–0,890 kgCO₂/ton-km. Analisis korelasi Spearman menghasilkan koefisien -1,000, yang menunjukkan hubungan negatif sempurna antara utilisasi kapasitas berat dan intensitas emisi karbon, meskipun hubungan tersebut dipengaruhi oleh konstruksi matematis indikator intensitas emisi sehingga tidak dapat diinterpretasikan sebagai hubungan kausal empiris. Berdasarkan temuan tersebut, dirumuskan beberapa strategi operasional yang dapat dipertimbangkan perusahaan, antara lain penyesuaian jadwal keberangkatan berbasis akumulasi muatan, penetapan ambang batas utilisasi minimum, serta pemanfaatan data historis pengiriman sebagai dasar perencanaan jadwal yang lebih adaptif dalam penerapan konsep green logistics.

Kata kunci: Emisi karbon, green logistics, intensitas emisi, less than truckload, utilisasi kapasitas

ABSTRACT

This study aims to analyze the operational performance of Less Than Truckload (LTL) distribution at PT Herona Express on the Bandung–Pamulang route by evaluating vehicle weight capacity utilization, calculating total carbon emissions and carbon emission intensity, examining the relationship between vehicle capacity utilization and carbon emission intensity, and formulating strategies to improve vehicle capacity utilization based on the research findings. A descriptive quantitative approach was employed using actual operational data from 44 distribution trips conducted between April and May 2026. Vehicle weight capacity utilization was calculated by comparing actual cargo weight with the vehicle's maximum capacity, while carbon emissions were estimated using the IPCC Tier 1 methodology based on diesel fuel consumption. The relationship between variables was analyzed using Spearman's rank correlation. The results indicate that the average vehicle weight capacity utilization was 44.17%, suggesting that vehicle capacity had not been optimally utilized. The average total carbon emission was 134.00 kgCO₂ per trip, while the average carbon emission intensity reached 0.258 kgCO₂/ton-km, ranging from 0.082 to 0.890 kgCO₂/ton-km. Spearman's correlation analysis produced a coefficient of -1.000, indicating a perfect negative relationship between vehicle weight capacity utilization and carbon emission intensity, although this relationship is influenced by the mathematical formulation of the emission intensity indicator and therefore should not be interpreted as empirical causality. Based on these findings, several operational strategies are proposed for the company to consider, including flexible departure scheduling based on cargo accumulation, setting a minimum utilization threshold, and utilizing historical shipment data as a basis for more adaptive scheduling in the implementation of green logistics.

Keywords: Carbon emissions, green logistics, emission intensity, less than truckload, capacity utilization

Pendahuluan

Peningkatan aktivitas distribusi barang turut menyebabkan meningkatnya konsumsi bahan bakar fosil dan emisi gas rumah kaca dari sektor transportasi, yang merupakan salah satu penyumbang emisi terbesar dalam operasional logistik [1], [2], [3]. Kondisi tersebut mendorong penerapan konsep *green logistics* yang menekankan keseimbangan antara efisiensi operasional dan keberlanjutan lingkungan melalui pengurangan konsumsi energi, optimalisasi penggunaan kendaraan, serta pengendalian emisi karbon [4], [5]. Dalam implementasinya, tingkat pemanfaatan kapasitas kendaraan menjadi salah satu indikator penting karena semakin tinggi utilisasi kendaraan, semakin rendah konsumsi bahan bakar dan intensitas emisi karbon yang dihasilkan per satuan muatan. Sebaliknya, kendaraan yang beroperasi dengan tingkat muatan rendah cenderung menghasilkan intensitas emisi karbon yang lebih tinggi [6].

Salah satu sistem distribusi yang banyak digunakan oleh perusahaan jasa ekspedisi adalah *Less Than Truckload* (LTL), yaitu sistem pengiriman barang yang menggabungkan muatan dari beberapa pelanggan dalam satu kendaraan sehingga kapasitas kendaraan tidak selalu terisi penuh pada setiap perjalanan [7]. Karakteristik distribusi LTL menyebabkan tingkat pemanfaatan kapasitas kendaraan berfluktuasi, dipengaruhi oleh variasi permintaan pelanggan, volume pengiriman, dan jadwal keberangkatan armada yang telah ditetapkan perusahaan [8]. Dalam praktiknya, kendaraan sering diberangkatkan meskipun muatan yang tersedia belum mencapai kapasitas optimal demi menjaga tingkat pelayanan kepada pelanggan, sehingga dapat menimbulkan inefisiensi operasional dan meningkatkan emisi karbon per satuan muatan dibandingkan ketika kendaraan beroperasi pada kapasitas optimal [6], [9].

Kondisi ini menjadi persoalan nyata di lapangan. Berdasarkan observasi awal pada PT Herona Express rute Bandung–Pamulang, armada tetap diberangkatkan sesuai jadwal operasional meskipun jumlah muatan yang tersedia bervariasi dari hari ke hari, yang memperlihatkan bahwa tingkat pemanfaatan kapasitas kendaraan belum optimal. Apabila kondisi ini tidak diidentifikasi dan dianalisis secara terukur, perusahaan tidak memiliki dasar yang cukup untuk mengambil keputusan operasional yang dapat meningkatkan efisiensi distribusi sekaligus menekan dampak lingkungan dari aktivitas transportasi barang yang dijalankan.

Kebaruan (*novelty*) penelitian ini terletak pada integrasi langsung antara pengukuran utilisasi kapasitas berat kendaraan dengan intensitas emisi karbon pada sistem distribusi *Less Than Truckload* (LTL) berbasis data operasional aktual perusahaan, suatu keterkaitan yang sejauh ini belum banyak dibahas secara eksplisit dalam literatur. Penelitian terdahulu mengenai transportasi dan logistik berkelanjutan umumnya membahas optimasi rute distribusi, implementasi *green logistics*, serta pengukuran emisi karbon berdasarkan jarak tempuh atau kawasan tertentu [10], [11]. Penelitian lain lebih menekankan analisis efisiensi distribusi yang berfokus pada optimalisasi biaya, waktu pengiriman, dan produktivitas armada, tanpa mengaitkan secara langsung tingkat pemanfaatan kapasitas angkut kendaraan dengan intensitas emisi karbon yang dihasilkan [12], [13], [14]. Selain itu, sebagian besar literatur mengenai sistem LTL masih dominan berfokus pada ketetapan waktu pengiriman dan biaya transportasi dibandingkan mengevaluasi dampak lingkungan akibat rendahnya pemanfaatan kapasitas kendaraan [7], [15]. Oleh karena itu, masih terdapat kesenjangan penelitian terkait integrasi pengukuran utilisasi kapasitas kendaraan dan intensitas emisi karbon secara simultan pada sistem distribusi LTL, yang menjadi fokus kebaruan penelitian ini.

Berdasarkan kondisi tersebut, penelitian ini bertujuan menganalisis kinerja operasional distribusi *Less Than Truckload* (LTL) PT Herona Express rute Bandung–Pamulang melalui pengukuran utilisasi kapasitas berat kendaraan, perhitungan total emisi karbon dan intensitas emisi karbon, analisis hubungan antara utilisasi kapasitas dan intensitas emisi yang dihasilkan, serta perumusan strategi peningkatan utilisasi kapasitas kendaraan berdasarkan temuan penelitian. Secara praktis, hasil penelitian ini diharapkan dapat memberikan manfaat bagi perusahaan logistik, khususnya PT Herona Express, dalam mengidentifikasi peluang optimalisasi pemanfaatan kapasitas kendaraan guna menurunkan intensitas emisi karbon dan meningkatkan efisiensi operasional distribusi, sehingga dapat menjadi landasan pengambilan keputusan strategis yang lebih terukur dan berkelanjutan.

Metode Penelitian

Penelitian ini menggunakan pendekatan kuantitatif deskriptif untuk menganalisis kinerja operasional distribusi *Less Than Truckload* (LTL) dan intensitas emisi karbon yang dihasilkan dari aktivitas transportasi barang PT Herona Express pada rute Bandung–Pamulang. Pendekatan kuantitatif dipilih karena penelitian berfokus pada pengukuran variabel numerik yang dapat dihitung secara objektif berdasarkan data operasional perusahaan, seperti berat muatan aktual, kapasitas kendaraan, konsumsi bahan bakar, dan jarak tempuh distribusi. Analisis deskriptif digunakan untuk menggambarkan kondisi aktual pemanfaatan kapasitas kendaraan serta tingkat intensitas emisi karbon yang dihasilkan selama periode April dan Mei 2026 yang mencakup 44 data observasi perjalanan.

Objek dan Lokasi Penelitian

Objek penelitian ini berfokus pada aktivitas distribusi *Less Than Truckload* (LTL) pada PT Herona Express Bandung dengan rute distribusi Bandung-Pamulang. Secara spesifik, objek material yang diteliti mencakup armada truk jenis Fuso Medium dengan kapasitas maksimal 10 ton berdasarkan standar batas aman operasional spesifikasi teknis kendaraan dengan jarak tempuh satu kali pengiriman pada rute tersebut sejauh 165 km. Lokasi penelitian ditetapkan pada unit operasional PT Herona Express Bandung Jl. Kebon Kawung No.26, Pasir Kaliki, Kec. Cicendo, Kota Bandung. Analisis difokuskan pada pengukuran utilisasi kapasitas berat dalam kinerja operasional distribusi serta intensitas emisi yang dikeluarkan per ton km.

Variabel Penelitian

Variabel penelitian terdiri atas variabel kinerja operasional dan variabel dampak lingkungan. Variabel kinerja operasional diukur menggunakan utilisasi kapasitas berat kendaraan dan waktu tempuh pengiriman, sedangkan variabel dampak lingkungan terdiri atas total emisi karbon dan intensitas emisi karbon. Ringkasan variabel penelitian beserta definisi operasional dan satuan pengukurannya dapat dilihat pada Tabel 1 dibawah ini

Tabel 1. Variabel Penelitian

No	Variabel	Jenis Variabel	Formula	Satuan
1	Utilisasi Kapasitas Berat	Kinerja Operasional (Utama)	$\frac{\text{Berat muatan Aktual (ton)}}{\text{kapasitas Maksimum Kendaraan}} \times 100\%$	%
2	Total Emisi Karbon	Dampak Lingkungan (Utama)	$\text{Konsumsi Bahan Bakar} \times \text{Faktor Emisi}$	kgCO ₂ /trip
3	Intensitas Emisi Karbon	Dampak Lingkungan (Utama)	$\frac{\text{Total Emisi}}{\text{Berat muatan aktual} \times \text{Jarak Tempuh}}$	kgCO ₂ /ton-km

Variabel utilisasi kapasitas berat dan intensitas emisi karbon merupakan variabel utama yang dianalisis hubungannya dalam penelitian ini. Variabel total emisi karbon digunakan sebagai dasar perhitungan intensitas emisi karbon, sedangkan waktu tempuh pengiriman berfungsi sebagai karakteristik operasional pendukung yang menggambarkan kondisi distribusi secara deskriptif dan tidak dianalisis sebagai variabel yang memengaruhi intensitas emisi karbon secara langsung.

Jenis dan Sumber data

1. Data Primer

Data primer diperoleh melalui observasi langsung terhadap aktivitas distribusi dan wawancara dengan Supervisor Operasional PT Herona Express. Data ini digunakan untuk memperoleh informasi mengenai mekanisme distribusi LTL, jadwal keberangkatan armada, proses konsolidasi muatan, serta kebijakan operasional perusahaan yang berkaitan dengan pemanfaatan kapasitas kendaraan. Selain itu, data primer juga mencakup informasi mengenai waktu keberangkatan, waktu kedatangan, dan waktu tempuh pengiriman yang diperoleh melalui konfirmasi dengan pihak operasional perusahaan.

2. Data Sekunder

Data sekunder diperoleh dari dokumen operasional PT Herona Express berupa data berat muatan aktual setiap keberangkatan, kapasitas maksimum kendaraan, konsumsi bahan bakar armada, jumlah perjalanan distribusi, waktu tempuh pengiriman, serta jarak tempuh pengiriman selama periode April–Mei 2026.

Teknik Pengumpulan Data

1. Wawancara

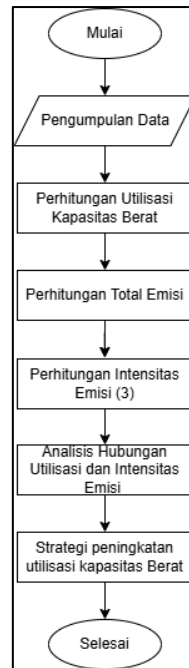
Wawancara dilakukan secara semi-terstruktur dengan pihak operasional PT Herona Express Bandung untuk memperoleh informasi mengenai mekanisme distribusi *Less Than Truckload* (LTL), proses konsolidasi muatan, jadwal keberangkatan armada, kapasitas kendaraan yang digunakan, pola konsumsi bahan bakar armada, serta kebijakan operasional perusahaan yang berkaitan dengan aktivitas distribusi pada rute Bandung–Pamulang. Wawancara juga dilakukan untuk memahami faktor-faktor yang memengaruhi tingkat utilisasi kapasitas kendaraan selama proses pengiriman.

2. Dokumentasi

Dokumentasi dilakukan dengan mengumpulkan data operasional perusahaan yang digunakan sebagai dasar perhitungan dalam penelitian. Data yang dikumpulkan meliputi berat muatan aktual setiap keberangkatan, kapasitas maksimum kendaraan, jumlah perjalanan distribusi, dan jarak tempuh pengiriman selama periode April–Mei 2026. Data dokumentasi tersebut digunakan untuk menghitung utilisasi kapasitas berat kendaraan, dan intensitas emisi karbon pada aktivitas distribusi LTL PT Herona Express.

Teknik Analisis Data

Tahapan analisis data dalam penelitian ini dimulai dari pengumpulan data dari PT Herona Express dilanjutkan dengan perhitungan serta analisis secara sistematis sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 1 berikut.



Gambar 1. Diagram Alur Tahapan Analisis Data

Berdasarkan diagram alur pada Gambar 1, penjelasan masing-masing tahapan perhitungan dan analisis diuraikan sebagai berikut:

1. Perhitungan Utilisasi Kapasitas Berat

Utilisasi kapasitas berat kendaraan merupakan ukuran tingkat pemanfaatan kapasitas angkut kendaraan berdasarkan berat muatan aktual yang diangkut dibandingkan dengan kapasitas berat maksimum kendaraan yang tersedia. Indikator ini digunakan untuk menunjukkan seberapa optimal kapasitas angkut kendaraan dimanfaatkan selama proses distribusi. Semakin tinggi nilai utilisasi kapasitas berat, semakin efisien pemanfaatan kapasitas kendaraan dalam mengangkut muatan [16]. Perhitungan utilisasi kapasitas berat kendaraan ditunjukkan pada Tabel 1.

2. Perhitungan Total Emisi Karbon

Perhitungan emisi karbon dalam penelitian ini menggunakan pendekatan Tier 1 berdasarkan pedoman Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), yaitu dengan mengalikan jumlah konsumsi bahan bakar dengan faktor emisi bahan bakar yang digunakan [17]. Berdasarkan wawancara dengan pihak operasional dan pengemudi PT Herona Express, konsumsi bahan bakar aktual armada Fuso di rute Bandung–Pamulang berfluktuasi antara 47 hingga 54 liter per perjalanan. Sebagai batasan penelitian, data konsumsi tersebut disederhanakan dengan mengambil nilai rata-rata sebesar 50 liter per perjalanan. Penggunaan nilai konstan ini berdampak pada hasil perhitungan total emisi absolut yang akan selalu sama pada periode penelitian. Oleh karena itu, analisis lebih lanjut terkait variasi emisi akibat perbedaan berat muatan harian akan difokuskan pada indikator intensitas emisinya. Perhitungan total emisi karbon ditunjukkan pada Tabel 1. Untuk mengonversi volume bahan bakar menjadi jumlah emisi, digunakan nilai koefisien yang disebut Faktor Emisi (*Emission Factor*). Berdasarkan Kementerian Energi dan sumber Daya Mineral, 2024, faktor emisi untuk bahan bakar jenis solar (diesel) adalah sebesar 2,68 kg CO₂/liter [1].

3. Perhitungan Intensitas Emisi

Dalam pendekatan ini, konsumsi bahan bakar armada menjadi data aktivitas utama untuk memperoleh total emisi gas rumah kaca. Pendekatan matematis ini merujuk pada standar pengukuran emisi angkutan barang global, di mana intensitas emisi didapatkan dari hasil pembagian antara total emisi absolut dengan hasil perkalian muatan aktual dan jarak tempuh kendaraan [5], [6]. Penggunaan perhitungan berbasis muatan ini sejalan dengan prinsip inventarisasi emisi dalam ISO 14083, yang menekankan bahwa pengukuran efisiensi logistik harus selalu memperhitungkan seberapa besar kapasitas yang berhasil dimanfaatkan terhadap jarak yang ditempuh [18]. Perhitungan intensitas emisi karbon ditunjukkan pada Tabel 1.

4. Analisis Hubungan Utilisasi Kapasitas dan Intensitas Emisi

Hubungan antara utilisasi kapasitas berat, dan intensitas emisi karbon dianalisis terlebih dahulu menggunakan diagram pencar (*scatter plot*) dengan pendekatan pencocokan kurva invers (*inverse curve fitting*). Analisis visual awal ini digunakan untuk mengidentifikasi kecenderungan pola hubungan nonlinier secara grafis antara tingkat pemanfaatan kapasitas kendaraan dengan tingkat intensitas emisi karbon yang dihasilkan selama periode operasional pengiriman. Selain visualisasi melalui diagram pencar tersebut, hubungan antarvariabel dianalisis menggunakan bantuan perangkat lunak IBM SPSS Statistics 22 melalui analisis Korelasi Rank Spearman [19] Uji Spearman dipilih karena hubungan antarvariabel bersifat monotonik dan tidak linear, sesuai dengan karakteristik data operasional distribusi *Less Than Truckload* (LTL) harian perusahaan yang bersifat sangat fluktuatif, memiliki sebaran data yang ekstrem (*outliers*), serta

terbukti tidak memenuhi asumsi normalitas dalam uji prasyarat analisis dengan nilai signifikansi ($\text{sig.} < 0,05$) [20]. Analisis ini digunakan untuk menggambarkan arah dan kekuatan hubungan antara tingkat utilisasi kapasitas berat kendaraan dengan efisiensi lingkungan berupa nilai intensitas emisi karbon pada PT Herona Express.

5. Strategi Peningkatan Utilisasi Kapasitas Berat

Berdasarkan hasil analisis utilisasi kapasitas berat dan intensitas emisi karbon, tahapan akhir dalam penelitian ini adalah perumusan strategi peningkatan utilisasi kapasitas kendaraan. Strategi dirumuskan secara kualitatif berdasarkan temuan empiris yang diperoleh dari data operasional aktual PT Herona Express selama periode penelitian. Perumusan strategi dilakukan dengan mengidentifikasi kondisi operasional yang menyebabkan rendahnya tingkat utilisasi kapasitas kendaraan, kemudian mengusulkan langkah-langkah perbaikan yang relevan dan realistis sesuai dengan karakteristik sistem distribusi *Less Than Truckload* (LTL) pada rute Bandung–Pamulang. Strategi yang dihasilkan bersifat rekomendasi praktis yang dapat dipertimbangkan oleh perusahaan sebagai dasar pengambilan keputusan operasional untuk meningkatkan efisiensi distribusi serta menurunkan intensitas emisi karbon.

Hasil Dan Pembahasan

Utilisasi Kapasitas Berat

Berdasarkan hasil perhitungan utilisasi kapasitas berat kendaraan, tingkat utilisasi pada distribusi LTL PT Herona Express rute Bandung–pamulang selama periode April–Mei 2026 berada pada rentang 9% hingga 99%. Nilai utilisasi tertinggi terjadi pada saat kendaraan mengangkut muatan mendekati kapasitas maksimum kendaraan, sedangkan nilai utilisasi terendah terjadi pada perjalanan dengan jumlah muatan yang relatif sedikit. Tabel 2 menunjukkan statistik deskriptif utilisasi kapasitas berat kendaraan selama periode penelitian.

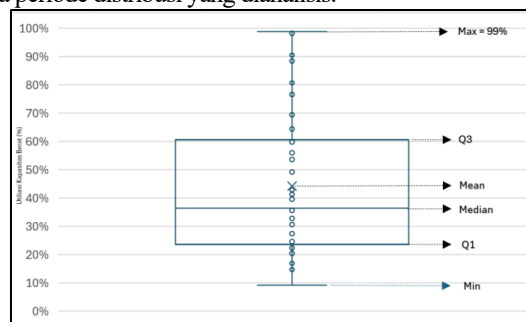
Tabel 2. Statistik Deskriptif Utilisasi kapasitas Berat Kendaraan

Parameter	Nilai(%)
Mean	44,17
Minimum	9
Maximum	99
Std. Deviation	25,336

Berdasarkan Tabel 2, rata-rata utilisasi kapasitas berat kendaraan selama periode penelitian sebesar 44,17% dengan nilai minimum 9% dan maksimum 99%. Nilai tersebut menunjukkan bahwa secara umum kapasitas angkut kendaraan belum dimanfaatkan secara optimal karena sebanyak 28 dari 44 perjalanan memiliki nilai utilisasi di bawah 50%. Dengan kapasitas maksimum kendaraan sebesar 10 ton, rata-rata muatan yang diangkut hanya berkisar 4,4 ton per perjalanan. Kondisi ini menunjukkan bahwa armada sering beroperasi dengan tingkat muatan yang relatif rendah dibandingkan kapasitas yang tersedia.

Selain itu, nilai standar deviasi sebesar 25,33% menunjukkan adanya variasi utilisasi yang cukup tinggi antar perjalanan. Hal ini mencerminkan bahwa tingkat pemanfaatan kapasitas kendaraan belum konsisten dan sangat dipengaruhi oleh jumlah muatan yang tersedia pada saat keberangkatan. Pada beberapa perjalanan, kendaraan mampu beroperasi mendekati kapasitas maksimum dengan tingkat utilisasi mencapai 99%, namun pada perjalanan lainnya utilisasi hanya mencapai 9%. Perbedaan yang cukup besar tersebut menunjukkan bahwa volume muatan yang diterima perusahaan berfluktuasi dari hari ke hari.

Untuk menggambarkan sebaran utilisasi kapasitas berat secara lebih komprehensif, Gambar 2 menunjukkan visualisasi *boxplot* distribusi utilisasi kapasitas berat selama periode April–Mei 2026. Berdasarkan visualisasi tersebut, sebaran data menunjukkan rentang yang cukup lebar antara nilai minimum 9% hingga maksimum 99%, dengan nilai rata-rata (*mean*) sebesar 44,17% dan median sebesar 36%. Lebar kotak (*interquartile range*) yang membentang dari Q1 sebesar 23% hingga Q3 sebesar 61% menunjukkan bahwa sebagian besar perjalanan memiliki tingkat utilisasi yang bervariasi cukup jauh antar satu perjalanan dengan perjalanan lainnya. Kondisi ini semakin mengonfirmasi bahwa tingkat pemanfaatan kapasitas kendaraan belum konsisten selama periode distribusi yang dianalisis.



Gambar 2. Boxplot Utilisasi Kapasitas Berat

Kondisi fluktuasi utilisasi yang tergambar pada boxplot tersebut sejalan dengan karakteristik sistem distribusi *Less Than Truckload* (LTL), di mana muatan dari berbagai pelanggan digabungkan dalam satu kendaraan sehingga jumlah muatan yang

tersedia pada setiap keberangkatan sangat bergantung pada permintaan pelanggan yang bersifat dinamis [9]. Berdasarkan hasil wawancara dengan pihak operasional PT Herona Express, kebijakan perusahaan mewajibkan armada untuk tetap diberangkatkan sesuai jadwal operasional yang telah ditetapkan meskipun muatan yang terkumpul belum mencapai kapasitas optimal. Kebijakan ini diambil semata-mata untuk menjaga ketepatan waktu pengiriman dan mempertahankan standar pelayanan kepada pelanggan, namun di sisi lain berdampak pada rendahnya rata-rata utilisasi kapasitas kendaraan yang hanya mencapai 44,17% selama periode penelitian.

Temuan ini sejalan dengan penelitian Apriani, 2026 yang menyatakan bahwa sistem distribusi LTL memiliki tantangan utama berupa fluktuasi tingkat pemanfaatan kapasitas kendaraan akibat ketidakpastian volume pengiriman [21]. Hasil penelitian ini juga mendukung temuan Amanda, 2025 yang menunjukkan bahwa rendahnya utilisasi kendaraan menjadi salah satu faktor penyebab menurunnya efisiensi operasional pada aktivitas distribusi barang [22].

Sebagai informasi pendukung kondisi operasional distribusi, waktu tempuh pengiriman pada rute Bandung–Pamulang berkisar antara 4,6 hingga 7,2 jam dengan rata-rata 5,7 jam. Variasi waktu tempuh ini menggambarkan adanya perbedaan kondisi operasional antar perjalanan, seperti kepadatan lalu lintas dan kondisi jalan, yang menjadi bagian dari karakteristik distribusi pada rute tersebut. Informasi ini tidak dianalisis lebih lanjut dalam penelitian ini, namun memberikan gambaran konteks operasional yang relevan dalam kerangka penerapan *green logistics*.

Total Emisi Karbon

Berdasarkan hasil perhitungan total emisi karbon, emisi yang dihasilkan armada distribusi PT Herona Express pada setiap perjalanan sebesar 134,00 kgCO₂. Nilai tersebut merupakan hasil dari batasan penelitian yang menggunakan asumsi nilai rata-rata konsumsi bahan bakar yang konstan, yakni 50 liter per perjalanan. Angka ini menggambarkan besaran dampak lingkungan absolut dari armada untuk menyelesaikan satu kali aktivitas transportasi pada rute Bandung–Pamulang.

Tabel 3. Perhitungan Total Emisi Karbon

Parameter	Nilai
Konsumsi Bahan Bakar	50 liter/trip
Faktor Emisi Solar	2,68 kgCO ₂ /liter
Total Emisi Karbon	134,00 kgCO ₂ /trip

Selama periode penelitian yang mencakup 44 perjalanan (N=44), akumulasi emisi karbon pada rute ini mencapai 5.896 kgCO₂, yang berarti armada menyumbang rata-rata emisi sebesar 2.948 kgCO₂ per bulan. Angka akumulasi ini memberikan gambaran riil mengenai beban lingkungan total yang dihasilkan dari frekuensi operasional perusahaan.

Namun, nilai emisi total tersebut belum mencerminkan tingkat efisiensi operasional karena tidak memperhitungkan besaran muatan yang diangkut. Oleh karena itu, penelitian ini tidak hanya menggunakan total emisi karbon sebagai indikator, tetapi juga menghitung intensitas emisi karbon dalam satuan kgCO₂/ton-km. Pendekatan ini memungkinkan penilaian efisiensi lingkungan yang lebih representatif karena menyertakan besarnya pekerjaan transportasi yang diselesaikan. Oleh karena itu, perhitungan total emisi karbon berfungsi sebagai tahap awal, sedangkan analisis intensitas emisi digunakan untuk mengevaluasi dampak lingkungan secara lebih menyeluruh.

Intensitas Emisi Karbon

Berdasarkan hasil perhitungan intensitas emisi karbon, nilai yang dihasilkan armada distribusi PT Herona Express berada pada rentang 0,082 – 0,890 kgCO₂/ton-km. Nilai intensitas emisi terendah diperoleh pada perjalanan dengan tingkat muatan yang tinggi, sedangkan nilai tertinggi terjadi pada perjalanan dengan muatan yang relatif rendah. Tabel 4 menunjukkan statistik deskriptif intensitas emisi karbon selama periode penelitian.

Tabel 4. Statistik Deskriptif Intensitas Emisi Karbon

Parameter	Nilai (kgCO ₂ /ton-km)
Mean	0,258
Minimum	0,082
Maximum	0,890
Std. Deviation	0,162

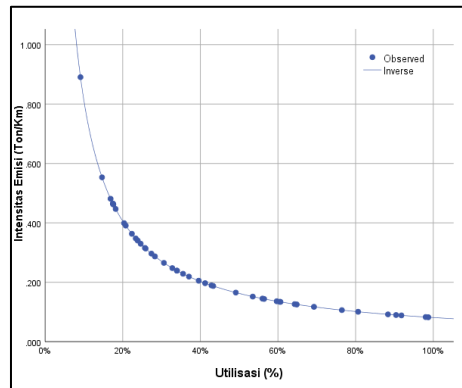
Variasi intensitas emisi tersebut membuktikan bahwa besarnya muatan yang diangkut sangat menentukan efisiensi lingkungan. Sebagai bukti empiris, pada perjalanan dengan muatan terendah (utilisasi hanya 9%), intensitas emisi karbon melonjak drastis hingga mencapai titik maksimum 0,890 kgCO₂/ton-km. Sebaliknya, saat kendaraan dioptimalkan dengan muatan mendekati penuh (utilisasi 99%), intensitas emisinya dapat ditekan hingga mencapai angka minimum 0,082 kgCO₂/ton-km.

Hasil tersebut menunjukkan bahwa pemanfaatan kapasitas kendaraan merupakan salah satu faktor penting dalam meningkatkan efisiensi lingkungan pada sistem distribusi Less Than Truckload (LTL). Dengan jumlah emisi perjalanan yang sama dalam perhitungan penelitian ini, peningkatan muatan yang diangkut akan memperbesar nilai ton-km sehingga emisi yang dibebankan pada setiap satuan pekerjaan transportasi menjadi lebih rendah. Sebaliknya, apabila kendaraan beroperasi dengan tingkat utilisasi yang rendah, intensitas emisi karbon per ton-km akan meningkat karena pekerjaan transportasi yang dihasilkan lebih kecil.

Temuan ini mendukung penelitian yang menyatakan bahwa rendahnya load factor kendaraan dapat meningkatkan emisi karbon per satuan muatan yang diangkut [6]. Selain itu, hasil penelitian ini juga sejalan dengan prinsip green logistics yang menekankan pentingnya optimalisasi kapasitas kendaraan sebagai strategi untuk meningkatkan efisiensi operasional dan menurunkan dampak lingkungan dari aktivitas transportasi barang. Hal ini menunjukkan bahwa peningkatan utilisasi kapasitas kendaraan tidak hanya dapat mengurangi biaya distribusi, tetapi juga menjadi langkah efektif dalam menekan intensitas emisi karbon pada sistem distribusi LTL PT Herona Express.

Hubungan Utilisasi Kapasitas Berat dan Intensitas Emisi Karbon

Hubungan antara utilisasi kapasitas berat kendaraan dan intensitas emisi karbon ditunjukkan pada Gambar 3. Visualisasi menggunakan diagram pencar (*scatter plot*) menunjukkan adanya kecenderungan penurunan intensitas emisi karbon seiring dengan meningkatnya utilisasi kapasitas berat kendaraan. Untuk membantu menggambarkan kecenderungan pola hubungan tersebut, ditambahkan kurva inverse yang sesuai dengan karakteristik hubungan teoritis antara kedua variabel.



Gambar 3. Visualisasi Diagram Pencar (Scatter Plot)

Secara visual, semakin tinggi tingkat utilisasi kapasitas kendaraan cenderung diikuti oleh semakin rendahnya intensitas emisi karbon. Pola penyebaran data membentuk hubungan nonlinier yang secara matematis merepresentasikan fungsi kurva invers. Berdasarkan fungsi tersebut, penurunan intensitas emisi mengikuti pola kurva invers, yaitu menurun tajam pada tingkat utilisasi rendah dan cenderung melandai pada tingkat utilisasi yang lebih tinggi. Kurva inverse pada Gambar 3 digunakan sebagai visualisasi pola hubungan dan bukan sebagai dasar pengujian statistik antarvariabel.

Untuk menguji signifikansi dan arah hubungan antara utilisasi kapasitas berat kendaraan dan intensitas emisi karbon, dilakukan uji korelasi Spearman. Uji nonparametrik ini dipilih karena sebaran data yang terbentuk memiliki pola hubungan yang tidak linear. Mengingat pola visual yang dihasilkan menyerupai kurva invers, korelasi Spearman menjadi metode yang paling relevan dan tangguh (*robust*) untuk mengukur kekuatan hubungan monotonik antarvariabel tersebut, dibandingkan korelasi Pearson yang mensyaratkan adanya asumsi hubungan linear. Hasil uji korelasi Spearman disajikan pada Tabel 5.

Tabel 5. Hasil Uji Korelasi Spearman

	Utilisasi kapasitas Berat	Intensitas Emisi Karbon
Utilisasi kapasitas Berat	Correlation Coefficient	1,000
	Sig. (2-tailed)	-
	N	44
Intensitas Emisi Karbon	Correlation Coefficient	-1,000
	Sig. (2-tailed)	-
	N	44

Berdasarkan hasil uji pada Tabel 5, diperoleh nilai koefisien korelasi Spearman sebesar -1,000. Nilai signifikansi yang kosong (ditandai dengan titik) pada tabel tersebut terjadi karena korelasi bersifat mutlak dan deterministik. Tanda minus pada angka tersebut memperjelas bahwa utilisasi kapasitas berat dan intensitas emisi karbon memiliki pola yang berbanding terbalik secara sempurna pada data operasional perusahaan. Namun, nilai tersebut perlu diinterpretasikan secara hati-hati karena tidak mencerminkan hubungan kausalitas empiris di lapangan. Secara matematis, intensitas emisi karbon diperoleh dari pembagian total emisi dengan hasil perkalian berat muatan aktual dan jarak tempuh (ton-km), sehingga utilisasi kapasitas berat dan intensitas emisi karbon keduanya dikendalikan oleh variabel yang sama, yaitu berat muatan aktual. Mengingat total emisi dan jarak tempuh bersifat konstan dalam penelitian ini, setiap perubahan berat muatan secara otomatis dan deterministik memengaruhi kedua variabel sekaligus. Korelasi sempurna yang dihasilkan karenanya lebih bersifat sebagai konfirmasi konsistensi matematis indikator yang digunakan daripada bukti hubungan sebab-akibat empiris antara kedua variabel di

lapangan. Untuk memperoleh hubungan yang lebih independen secara empiris, diperlukan data konsumsi bahan bakar aktual per perjalanan sehingga nilai total emisi tidak bersifat statis dan variasi antarvariabel dapat dianalisis secara lebih objektif dan independen.

Penelitian ini memiliki beberapa keterbatasan yang perlu diperhatikan dalam menginterpretasikan hasil yang diperoleh. Perhitungan emisi karbon menggunakan asumsi konsumsi bahan bakar rata-rata yang konstan sebesar 50 liter per perjalanan berdasarkan pendekatan IPCC Tier 1, sehingga nilai total emisi tidak bervariasi antar perjalanan dan menghasilkan korelasi matematis yang terikat antara utilisasi kapasitas dan intensitas emisi. Selain itu, penelitian belum mempertimbangkan faktor kondisi lalu lintas dan gaya mengemudi (*driving behavior*) yang dalam kondisi aktual berpotensi memengaruhi tingkat konsumsi bahan bakar secara signifikan. Kemacetan lalu lintas pada rute Bandung–Pamulang misalnya dapat meningkatkan konsumsi bahan bakar akibat waktu *idle* yang lebih panjang, sementara gaya mengemudi yang tidak efisien seperti akselerasi dan pengereman mendadak juga turut berkontribusi terhadap peningkatan konsumsi energi kendaraan. Selain itu, penelitian ini hanya mencakup satu rute distribusi sehingga hasil yang diperoleh belum dapat digeneralisasi untuk seluruh operasional distribusi PT Herona Express maupun perusahaan logistik LTL lainnya secara umum.

Strategi Peningkatan Utilisasi Kapasitas Berat

Berdasarkan temuan penelitian, rata-rata utilisasi kapasitas berat kendaraan PT Herona Express pada rute Bandung–Pamulang hanya mencapai 44,17%, yang menunjukkan bahwa kapasitas angkut armada belum dimanfaatkan secara optimal dalam setiap keberangkatan. Kondisi ini menunjukkan masih terbukanya peluang bagi perusahaan untuk meningkatkan efisiensi operasional melalui pengelolaan muatan yang lebih baik sebelum armada diberangkatkan dari Bandung.

Salah satu langkah yang dapat dipertimbangkan adalah penyesuaian jadwal keberangkatan berdasarkan akumulasi muatan yang tersedia. Pada kondisi saat ini, armada diberangkatkan mengikuti jadwal operasional tetap tanpa mempertimbangkan tingkat keterisian kendaraan. Pemberian fleksibilitas waktu keberangkatan dalam batas tertentu, selama tidak mengganggu komitmen pelayanan kepada pelanggan, dapat memberikan kesempatan untuk mengakumulasi muatan dalam jumlah yang lebih besar sehingga utilisasi kendaraan menjadi lebih optimal.

Optimalisasi pemanfaatan kapasitas juga dapat didukung melalui penerapan kebijakan utilisasi minimum sebelum keberangkatan. Perusahaan dapat menetapkan batas utilisasi tertentu, misalnya 60–70% dari kapasitas maksimum kendaraan, sebagai acuan operasional sebelum armada diberangkatkan. Kebijakan ini berpotensi mengurangi frekuensi perjalanan dengan muatan yang terlalu rendah, sebagaimana yang terjadi pada 28 dari 44 perjalanan dalam periode penelitian yang tercatat memiliki utilisasi di bawah 50%. Kebijakan tersebut tetap perlu mempertimbangkan pengecualian untuk pengiriman yang bersifat mendesak atau memiliki batas waktu pelayanan yang ketat agar kualitas layanan kepada pelanggan tetap terjaga.

Di samping itu, pemanfaatan data historis volume pengiriman dapat digunakan sebagai dasar penyusunan jadwal operasional yang lebih adaptif. Analisis terhadap pola permintaan harian maupun mingguan memungkinkan perusahaan mengidentifikasi periode dengan volume pengiriman yang relatif tinggi, sehingga frekuensi keberangkatan dan alokasi kapasitas kendaraan dapat disesuaikan secara lebih efektif. Jika diterapkan secara konsisten, langkah-langkah tersebut berpotensi meningkatkan rata-rata utilisasi kapasitas kendaraan dari angka 44,17% yang tercatat selama periode penelitian, yang pada nantinya akan berdampak pada penurunan intensitas emisi karbon per ton-km dalam kerangka penerapan green logistics pada sistem distribusi PT Herona Express.

Simpulan

Berdasarkan hasil penelitian pada aktivitas distribusi *Less Than Truckload* (LTL) PT Herona Express rute Bandung–Pamulang selama periode April–Mei 2026, dapat disimpulkan bahwa rata-rata utilisasi kapasitas berat kendaraan sebesar 44,17%, yang menunjukkan bahwa kapasitas angkut armada belum dimanfaatkan secara optimal dalam kegiatan distribusi. Dari aspek lingkungan, rata-rata emisi karbon absolut yang dihasilkan sebesar 134,00 kgCO₂ per perjalanan, sedangkan rata-rata intensitas emisi karbon sebesar 0,258 kgCO₂/ton-km dengan rentang 0,082–0,890 kgCO₂/ton-km.

Terkait hubungan antarvariabel, hasil analisis menunjukkan adanya hubungan negatif yang sangat kuat antara utilisasi kapasitas berat kendaraan dan intensitas emisi karbon. Berdasarkan hasil uji korelasi Spearman diperoleh koefisien korelasi sebesar -1,000 dengan nilai signifikansi $p < 0,05$. Hubungan tersebut menunjukkan bahwa peningkatan utilisasi kapasitas berat kendaraan cenderung diikuti oleh penurunan intensitas emisi karbon pada data operasional yang dianalisis. Namun demikian, hasil tersebut perlu diinterpretasikan secara hati-hati karena intensitas emisi merupakan indikator yang secara matematis dipengaruhi oleh besarnya nilai ton-km, sehingga hubungan yang diperoleh juga dipengaruhi oleh konstruksi perhitungan indikator tersebut.

Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa optimalisasi pemanfaatan kapasitas angkut kendaraan merupakan salah satu upaya yang dapat meningkatkan efisiensi distribusi dan menurunkan intensitas emisi karbon dalam penerapan konsep green logistics. Berdasarkan temuan tersebut, beberapa strategi operasional dapat dipertimbangkan oleh PT Herona Express untuk meningkatkan utilisasi kapasitas kendaraan, antara lain penyesuaian jadwal keberangkatan berbasis akumulasi muatan, penetapan ambang batas utilisasi minimum sebelum keberangkatan, serta pemanfaatan data historis volume pengiriman sebagai dasar penyusunan jadwal operasional yang lebih adaptif. Penerapan strategi-strategi tersebut secara bertahap

diharapkan dapat meningkatkan rata-rata utilisasi kapasitas kendaraan sekaligus menekan intensitas emisi karbon per ton-km pada sistem distribusi PT Herona Express.

Berdasarkan keterbatasan tersebut, beberapa arah penelitian lanjutan dapat dipertimbangkan untuk menghasilkan analisis yang lebih mendalam. Penggunaan data konsumsi bahan bakar aktual per perjalanan dengan pendekatan IPCC Tier 2 atau Tier 3 akan menghasilkan estimasi emisi karbon yang lebih akurat dan tidak bersifat statis, sehingga hubungan antarvariabel dapat dianalisis secara lebih independen dan empiris tanpa dipengaruhi oleh konstruksi matematis indikator yang digunakan. Selain itu, penelitian lanjutan dapat mempertimbangkan faktor kondisi lalu lintas, gaya mengemudi, dan waktu idle sebagai variabel tambahan, serta memperluas cakupan analisis ke beberapa rute distribusi atau hingga distribusi lanjutan dari hub Pamulang ke wilayah tujuan akhir, sehingga gambaran efisiensi distribusi dan dampak lingkungan dalam kerangka green logistics dapat diperoleh secara lebih komprehensif.

Daftar Pustaka

- [1] Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral, "Laporan Inventarisasi Emisi Gas Rumah Kaca (GRK) Sektor Energi Tahun 2024," Pusat Data dan Teknologi Informasi Energi dan Sumber Daya Mineral, Jakarta.
- [2] R. Rahma, M. Sugiarto, dan M. Isya, *Strategi Dekarbonisasi Transportasi: Inventarisasi dan Proyeksi Emisi Udara*. Banda Aceh: USK Press, 2025.
- [3] R. C. K. Pangestu dan A. A. K. Ayuningsasi, "Pengaruh Konsumsi Energi Sektor Industri, Rumah Tangga, dan Transportasi terhadap Emisi Karbon di Indonesia," *Inisiat. J. Ekon. Akunt. Dan Manaj.*, vol. 3, no. 4, 2024, doi: <https://doi.org/10.30640/inisiatif.v3i4.3154>.
- [4] M. Winata dan L. Ellitan, "Penerapan Green Logistics dalam Bisnis Logistik Indonesia," *J. Cendekia Ilm. J-CEKI*, vol. 3, no. 1, Des 2023, doi: [10.56799/jceki.v3i1.2538](https://doi.org/10.56799/jceki.v3i1.2538).
- [5] Smart Freight Centre, "Global Logistics Emissions Council (GLEC) Framework for Logistics Emissions Methodologies," 2023. [Daring]. Tersedia pada: <https://www.smartfreightcentre.org/en/our-programs/emissions-accounting/global-logistics-emissions-council/calculate-report-glec-framework/>
- [6] I. Harris, D. Enrique Bermudez Bermejo, T. Crowther, dan J. McDonald, "Factors Affecting Truck Payload in Recycling Operations: Towards Sustainable Solutions," *Factors Affect. Truck Payload Recycl. Oper. Sustain. Solut.*, vol. 8, no. 4, Nov 2024, doi: <https://doi.org/10.3390/logistics8040118>.
- [7] E. Fatma, "Manajemen Transportasi," dalam *Sekilas Manajemen Logistik*, 2021. [Daring]. Tersedia pada: <https://repository.poltekapp.ac.id/id/eprint/3496/1/Karya%20ciptaan%20-%20Sekilas%20Manajemen%20Logistik.pdf>
- [8] X. Chen, T. Weilin, Y. Hai, M. Lang, Y. Liu, dan S. Li, "Optimization of Truck–Cargo Matching for the LTL Logistics Hub Based on Three-Dimensional Pallet Loading," *Multidiscip. Digit. Publ. Inst.*, Okt 2024, doi: <https://doi.org/10.3390/math12213336>.
- [9] I. Sanchez-Diaz, L. Palacios-Argüello, A. Levandi, J. Mardberg, dan B. Rafael, "A Time-Efficiency Study of Medium-Duty Trucks Delivering in Urban Environments," *Multidiscip. Digit. Publ. Inst.*, vol. 12, no. 1, Jan 2020, doi: <https://doi.org/10.3390/su12010425>.
- [10] M. Fauzi, D. B. Sopandi, dan V. Hartati, "Perhitungan Reduksi Emisi Gas Buang Melalui Penentuan Rute Distribusi Beras di Kota Bandung," *J. Teknol. Lingkung.*, vol. 22, no. 2, 2021.
- [11] C. Meidiana, Y. A. Pamungkas, M. E. Wahyudi, dan M. Evelyn, "Emisi Sektor Transportasi: Studi Kasus Kota Bongkang," *J. Sist. Dan Tek. Transp. Indones.*, 2024.
- [12] D. P. Faeni, A. S. Ali, dan F. N. Putri, "Penerapan Metode Transportasi untuk Optimalisasi Biaya Distribusi Kendaraan (Studi Kasus pada PT Astra)," *SINERGI J. Ris. Ilm.*, 2025.
- [13] G. T. D. Kurniawan, S. Zahirah, A. Soimun, dan D. R. Navianti, "Implementasi Sistem Pengawasan Armada sebagai Upaya Peningkatan Efisiensi Pengiriman Barang," *J. Transp.*, 2025, doi: <https://doi.org/10.26593/jtrans.v25i2.9597.139-148>.
- [14] E. Saribanon, T. O. Sihotang, C. Pahrudin, Y. Ashari, dan A. Nugroho, "Meningkatkan Efisiensi Manajemen Armada dan Mengurangi Unit yang Tidak Dapat Digunakan di PT Serasi Logistics Indonesia Improving Fleet," *J. Abdimas Transp. Logist.*, 2024, doi: <https://doi.org/10.54324/j.atl.v4i1.2402>.
- [15] O. C. Saka dan F. S. Salman, "An Improved Freight Transportation Planning System for Less-Than-Truckload Operations of a Third-Party Logistics Carrier," *Networks*, 2025, doi: [10.1002/net.22264](https://doi.org/10.1002/net.22264).
- [16] S. Sugiarti, J. Gusmali, dan M. Yuliasih, "Analisis Weight Load Factor Barang Diangkut Dalam Produksi Angkutan Udara Berjadwal Dalam Negeri," *J. Ilm. Kedirgant.*, vol. 18, no. 2, Nov 2021, doi: <https://doi.org/10.52186/aviasi.v18i2.89>.
- [17] Intergovernmental Panel on Climate Change, *2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories: Volume 2 Energy*, vol. 3. 2006. [Daring]. Tersedia pada: <https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/vol2.html>
- [18] International Organization for Standardization, *ISO 14083:2023 Greenhouse gases — Quantification and reporting of greenhouse gas emissions arising from transport chain operations*, 2023.

- [19] I. Ghozali, *Aplikasi Analisis Multivariate dengan Program IBM SPSS 26*, 10 ed. Badan Penerbit Universitas Diponegoro, 2021.
- [20] Sugiyono, *Metode Penelitian Kuantitatif, Kualitatif, dan R&D*, 2 ed. Alfabeta, 2019.
- [21] E. Apriani, L. Judijanto, dan I. Muriani Emelda, *Manajemen Logistik & Rantai Pasok: Penanganan Kargo dan Distribusi*. Jambi: PT Sonpedia Publishing Indonesia, 2026.
- [22] S. T. Amanda, S. F. Maulani, K. B. Aliano, S. N. Adilla, N. Evriliyani, dan O. R. Maelani, "Analisis Effective Utilization pada Alat Berat PT XYZ: Evaluasi dan Optimalisasi Operasional," *J. Logist.*, vol. 18, no. 2, Okt 2025, doi: <https://doi.org/10.21009/logistik.v18i02.54877>.