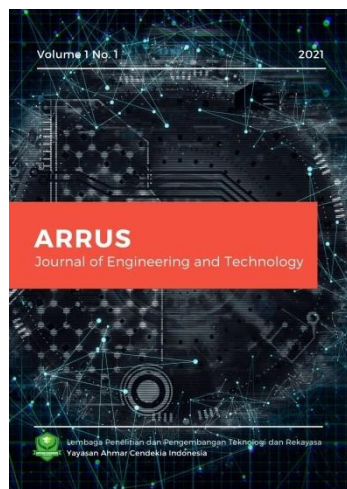




*Corresponding author: Sentot Purboseno, Department of Agricultural Engineering, Faculty of Agricultural Technology, Institut Pertanian Stiper Yogyakarta, Indonesia

E-mail: sentot.purboseno@gmail.com

RESEARCH ARTICLE

Evaluation of Efficiency and Carbon Emissions of Fresh Fruit Bunches (FFB) Transportation by Company and Contractor Dump Trucks in A Low Carbon Development Framework

Ferdi Fiki Aksyani, Sentot Purboseno*, & Seno Ajar Yomo

Faculty of Agricultural Technology, Institut Pertanian Stiper Yogyakarta, Indonesia

Abstract: This study aims to evaluate the efficiency of transporting Fresh Fruit Bunches (FFB) from the Harvesting Point (TPH) to the Palm Oil Mill (PKS) using a fleet of company-owned and contractor-owned dump trucks at PT Persada Sejahtera Agro Makmur. Parameters analyzed included travel time, load capacity, fuel consumption, operational costs, and estimated carbon emissions using the IPCC 2019 approach. The results show that the company's dump trucks have shorter travel times, larger load capacities, lower fuel consumption, and lower hourly operating costs than the contractor's dump trucks. Annual carbon emissions from the company's dump trucks are 27,389 kg CO₂, while the contractor's dump trucks produce 29,346 kg CO₂. Simulations of converting to B50 biodiesel and electric vehicles indicate potential energy cost savings of up to IDR 1.47 billion and emission reductions of up to 1,013 tons of CO₂ over five years. This research supports the development of a low-carbon logistics system in the palm oil plantation sector.

Keywords: Dump Truck, Fresh Fruit Bunches, Energy Efficiency, Carbon Emissions, Low Carbon Development

1. Introduction

Transportasi dalam industri kelapa sawit jadi salah satu penyumbang utama emisi karbon. Pemindahan TBS dari kebun ke PKS umumnya menggunakan truk diesel intensif energi yang menyumbang signifikan terhadap konsumsi bahan bakar fosil. Dalam laporan Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan (KLHK, 2022), sektor transportasi tercatat menyumbang sekitar 25% dari total emisi gas rumah kaca (GRK) nasional, dengan kendaraan pengangkut hasil perkebunan menjadi salah satu penyumbang utama.

Menurut data dari IEA (IEA, 2021), sektor transportasi menyumbang lebih dari 37% total permintaan energi final dunia, dengan dominasi penggunaan bahan bakar fosil. Dalam konteks Indonesia, sektor agrikultur termasuk transportasi hasil perkebunan menjadi fokus dalam strategi nasional pembangunan rendah karbon (RPJMN 2020–2024), terutama untuk mencapai target penurunan emisi sebesar 314 juta ton CO₂eq pada tahun 2030 (Bappenas, 2021). Dengan meningkatnya tekanan global terhadap dekarbonisasi industri dan komitmen Indonesia dalam mengurangi emisi sebesar 29% tanpa bantuan internasional atau hingga 41% dengan dukungan internasional berdasarkan dokumen NDC (Nationally Determined Contribution), maka transformasi sistem transportasi perkebunan menjadi aspek krusial dalam pembangunan rendah karbon. Peraturan Presiden No. 98 Tahun 2021 tentang nilai



ekonomi karbon dan Instruksi Presiden No. 7 Tahun 2023 tentang penggunaan kendaraan listrik sebagai kendaraan operasional pemerintah, menjadi acuan kebijakan nasional untuk mendorong transisi ini.

Di tingkat internasional, kebijakan Uni Eropa seperti EU Deforestation-Free Regulation (EUDR) dan Carbon Border Adjustment Mechanism (CBAM) mendorong transparansi dan pengurangan jejak karbon produk impor, termasuk minyak sawit. Hal ini menuntut produsen sawit Indonesia untuk menerapkan praktik logistik rendah karbon guna menjaga akses pasar dan reputasi keberlanjutan (European Commission, 2023).

Penerapan sistem transportasi rendah karbon di sektor perkebunan, khususnya pada transportasi TBS, tidak hanya berdampak pada efisiensi energi dan penurunan emisi, tetapi juga meningkatkan daya saing dan keberlanjutan industri sawit Indonesia di pasar global. Studi oleh (Wahyudi et al., 2021) menekankan pentingnya efisiensi distribusi dan teknologi transportasi bersih dalam mendukung sertifikasi ISPO dan RSPO.

Kajian ini bertujuan untuk menganalisis performa dua jenis dump truck—dump truck milik perusahaan dan dump truck kontraktor—dari perspektif teknis (kapasitas kerja, waktu tempuh), ekonomi (biaya operasional), dan lingkungan (emisi karbon). Penelitian ini juga mensimulasikan integrasi energi baru terbarukan melalui skenario penggunaan biodiesel B50 dan kendaraan listrik, guna mengevaluasi potensi penghematan dan penurunan emisi dalam jangka menengah. Kajian ini memberikan dasar ilmiah untuk pengambilan keputusan di tingkat manajerial dan kebijakan dalam upaya mempercepat transisi energi di sektor transportasi perkebunan.

2. Research Method and Materials

Penelitian ini dilakukan di PT Persada Sejahtera Agro Makmur, Kabupaten Katingan, Kalimantan Tengah, selama periode Agustus hingga Oktober 2022. Penelitian bersifat kuantitatif-deskriptif dengan pendekatan studi komparatif antara dua jenis armada angkutan: dump truck milik perusahaan dan dump truck milik kontraktor.

2.1. Pengumpulan Data Primer

Data primer diperoleh melalui metode observasi langsung terhadap kegiatan operasional pengangkutan Tandan Buah Segar (TBS). Observasi dilakukan pada masing-masing 8 siklus pengangkutan dump truck perusahaan dan dump truck kontraktor. Setiap siklus mencakup tahapan pemuatan di Tempat Pengumpulan Hasil (TPH), proses pengangkutan menuju Pabrik Kelapa Sawit (PKS), dan pembongkaran di pabrik. Parameter yang diukur meliputi:

- Waktu tempuh (jam) untuk setiap segmen: muat, angkut, bongkar
- Jarak tempuh (km)
- Jumlah muatan (ton)
- Kecepatan rata-rata (km/jam)

Data ini digunakan untuk menghitung efisiensi waktu, kecepatan operasional, dan kapasitas kerja dalam ton per jam (ton/jam).

2.2. Analisis Biaya Operasional

Perhitungan biaya operasional dilakukan berdasarkan pendekatan biaya tetap dan biaya variabel. Biaya tetap mencakup:

- Biaya penyusutan kendaraan, dihitung menggunakan metode garis lurus (straight-line depreciation)
- Biaya bunga modal, dihitung berdasarkan tingkat bunga tahunan 10% sesuai asumsi keekonomian kendaraan (Kurniawan & Sari, 2020)

Biaya variabel terdiri atas:

- (a). Konsumsi bahan bakar solar (liter/jam), dihitung berdasarkan observasi dan rasio konsumsi harian
- (b). Biaya pelumas per jam
- (c). Biaya operator (upah/jam)
- (d). Biaya pemeliharaan kendaraan, diasumsikan sebesar 5% dari harga kendaraan per tahun (Suharto et al., 2021)

2.3. Perhitungan Emisi Karbon

Emisi karbon dihitung menggunakan metode standar IPCC 2019 Guidelines dengan rumus:
Di mana:

- (a). Emisi karbon (kg CO₂)
- (b). Konsumsi bahan bakar (liter)
- (c). Emission Factor untuk solar = 2,68 kg CO₂/liter

Perhitungan dilakukan untuk estimasi emisi harian dan tahunan berdasarkan konsumsi solar aktual dari masing-masing dump truck. Hasil emisi ini digunakan untuk mengevaluasi intensitas karbon dan potensi reduksi emisi melalui skenario alternatif energi.

2.4. Perhitungan Emisi Karbon

Simulasi dilakukan terhadap dua skenario:

- (a). Penggunaan biodiesel B50 (emisi turun 30% dibanding solar)
- (b). Penggunaan kendaraan listrik (emisi turun 90% jika berbasis grid mix nasional)

Harga energi dan emisi dalam simulasi mengikuti data dari IEA (IEA, 2020) , ESDM (2023), dan asumsi konsumsi operasional rata-rata dump truck per hari.

2.5. Validitas Data dan Triangulasi

Validitas data dijamin melalui ulangan pengamatan minimal 8 kali siklus untuk tiap jenis armada, serta pencocokan dengan data logistik perusahaan. Triangulasi dilakukan dengan membandingkan hasil perhitungan dengan studi sejenis dari literatur nasional (Wahyudi et al., 2021) dan internasional (OECD, 2021).

Metode ini membantu menganalisis secara lebih lengkap terhadap performa teknis, biaya, dan emisi dari sistem pengangkutan TBS serta memberikan dasar kuantitatif untuk skenario pengurangan emisi berbasis energi baru terbarukan.

3. Results and Discussion

3.1. Efisiensi Operasional

Hasil observasi menunjukkan bahwa dump truck perusahaan memiliki rata-rata waktu tempuh sebesar 2,11 jam per siklus, sedikit lebih cepat dibandingkan dengan dump truck kontraktor sebesar 2,14 jam. Selisih ini meskipun kecil, mencerminkan konsistensi operasional kendaraan milik perusahaan yang didukung oleh sistem manajemen armada dan perawatan rutin yang lebih baik (Wahyudi et al., 2021).

Beban angkut rata-rata dump truck perusahaan adalah 6,643 ton, lebih tinggi dibandingkan kontraktor sebesar 6,262 ton. Perbedaan ini mengindikasikan bahwa kendaraan milik perusahaan dapat dimaksimalkan kapasitasnya, kemungkinan disebabkan oleh tata kelola pengangkutan yang lebih efisien dan kondisi fisik kendaraan yang lebih baik (Kurniawan & Sari, 2020).

Kecepatan rata-rata pengangkutan dump truck kontraktor lebih tinggi (12,63 km/jam) dibanding perusahaan (11,92 km/jam), namun hal ini tidak serta-merta menunjukkan efisiensi



lebih tinggi. Kecepatan yang lebih tinggi dapat disebabkan oleh beban yang lebih ringan atau pengaruh pengemudi, namun belum tentu berdampak positif terhadap efisiensi logistik secara keseluruhan.

Kapasitas kerja dump truck perusahaan mencapai 3,147 ton/jam, lebih tinggi dibandingkan dengan kontraktor (2,927 ton/jam). Temuan ini sejalan dengan studi dari (Irawan et al., 2020) dan (Sumarno et al., 2020), yang menyebutkan bahwa kapasitas kerja merupakan indikator utama dalam menentukan efisiensi transportasi hasil perkebunan dan mendukung ketahanan pasokan bahan baku.

3.2. Biaya Operasional

Total biaya operasional dump truck perusahaan adalah Rp212.248,03 per jam, lebih rendah dibandingkan kontraktor yang mencapai Rp233.454,58 per jam. Perbedaan ini dipengaruhi oleh beberapa faktor utama:

- (a). Harga bahan bakar perusahaan lebih murah karena kerjasama langsung dengan pemasok BBM.
- (b). Spesifikasi kendaraan perusahaan lebih hemat bahan bakar.
- (c). Perawatan kendaraan yang lebih konsisten pada armada perusahaan.

Analisis ini diperkuat oleh temuan (Sumarno et al., 2020), yang menyatakan bahwa efisiensi biaya sangat dipengaruhi oleh integrasi manajemen kendaraan dan skala ekonomi dalam pengadaan energi dan suku cadang. Studi internasional dari (OECD, 2021) dan World Bank (2021) juga menekankan bahwa efisiensi biaya logistik di sektor agrikultur ditentukan oleh faktor-faktor internal perusahaan seperti perencanaan rute dan optimalisasi penggunaan armada.

3.3. Emisi Karbon

Mengacu pada metode (IPCC, 2019), emisi karbon tahunan dari dump truck perusahaan tercatat sebesar 27.389 kg CO₂/tahun, lebih rendah dibanding dump truck kontraktor sebesar 29.346 kg CO₂/tahun. Selisih sebesar 1.957 kg CO₂/tahun menunjukkan potensi efisiensi emisi yang signifikan jika armada milik perusahaan digunakan secara lebih luas.

Simulasi pengurangan konsumsi bahan bakar sebesar 10% menghasilkan penurunan emisi sebesar 2,738 ton CO₂ untuk perusahaan dan 2,934 ton CO₂ untuk kontraktor. Hal ini membuktikan adanya korelasi linier antara konsumsi energi dan emisi, sebagaimana dijelaskan dalam laporan (IEA, 2020) dan (GIZ, 2022), bahwa setiap pengurangan 1 liter solar akan mengurangi emisi sebesar 2,68 kg CO₂. Kajian oleh Nasution & Putra (2023) juga mengonfirmasi potensi reduksi emisi melalui penerapan biofuel dari limbah sawit sebagai bahan bakar alternatif.

3.4. Simulasi Transisi Energi

Simulasi dua skenario transisi energi menunjukkan dampak yang signifikan terhadap lingkungan dan ekonomi:

- (a). Penggunaan biodiesel B50 bisa menurunkan emisi karbon sampai 30%, namun menyebabkan peningkatan biaya energi sekitar Rp288 juta selama 5 tahun. Meski demikian, peningkatan ini masih dalam batas wajar apabila dibandingkan dengan manfaat penurunan emisi dan peluang mendapatkan insentif keberlanjutan dari pasar global (Nasution & Putra, 2023).
- (b). Penggunaan kendaraan listrik (EV) mampu menurunkan emisi hingga 90% dengan total penghematan biaya energi sebesar Rp1,47 miliar selama 5 tahun. Studi oleh GAPKI (2022), GIZ (2022), dan World Bank (2021) menunjukkan bahwa kendaraan listrik memberikan manfaat ganda—baik dalam aspek lingkungan maupun keekonomian—jika ditunjang oleh infrastruktur pengisian dan sistem jaringan kelistrikan yang andal.

Secara keseluruhan, hasil penelitian ini sejalan dengan literatur nasional dan internasional bahwa optimalisasi sistem transportasi berbasis rendah karbon di sektor perkebunan merupakan strategi kunci dalam mencapai efisiensi operasional, penurunan emisi, dan keberlanjutan industri (World Bank, 2021; KLHK, 2022; OECD, 2021; (Bappenas, 2021).

Penelitian ini menyediakan dasar analisis yang kuat dalam pengambilan kebijakan logistik rendah karbon pada industri kelapa sawit. Implikasi praktisnya adalah pentingnya investasi dalam armada yang efisien dan teknologi energi terbarukan guna menekan biaya jangka panjang dan memenuhi tuntutan keberlanjutan pasar global serta regulasi karbon internasional.

4. Conclusion

Dump truck milik perusahaan terbukti lebih efisien dibandingkan dump truck kontraktor dalam hal waktu kerja, biaya operasional, dan emisi karbon. Simulasi transisi energi menunjukkan bahwa penggunaan biodiesel B50 dan kendaraan listrik dapat secara signifikan mengurangi emisi dan biaya energi. Oleh karena itu, adopsi teknologi transportasi rendah karbon dan optimalisasi logistik digital direkomendasikan untuk mendukung keberlanjutan operasional perkebunan.

References

- Bappenas. (2021). Strategi Pembangunan Rendah Karbon Indonesia. Kementerian Perencanaan Pembangunan Nasional. <https://www.statista.com/chart/11673/the-soaring-costs-of-climate-change/>
- European Commission. (2023). EU Deforestation Regulation and Carbon Border Adjustment Mechanism. European Commission. <https://eurlex.europa.eu/eli/reg/2023/956/oj/eng>
- GIZ. (2022). Renewable Energy Integration in Industrial Transport Systems. Deutsche Gesellschaft Für Internationale Zusammenarbeit (GIZ).
- IEA. (n.d.). The Role of Biofuels in Low-Carbon Transport. International Energy Agency. 2020. Retrieved June 29, 2025, from <https://www.iea.org/reports/renewables-2020/transportbiofuels>
- IEA. (2021). Tracking Transport 2021. International Energy Agency. <https://www.iea.org/reports/tracking-transport-2021>
- IPCC. (2019). Refinement to the 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. . Intergovernmental Panel on Climate Change. <https://www.ipcc.ch/report/2019-refinement-to-the-2006-ipcc-guidelines-for-national-greenhouse-gas-inventories/>
- Irawan, B., Sutrisno, H., & Damanik, R. (2020). Renewable Transport Technologies in Indonesian Agriculture. <https://journal.ugm.ac.id/agritech>
- KLHK. (2022). Strategi Nasional Pengurangan Emisi GRK. Kementerian Lingkungan Hidup Dan Kehutanan Republik Indonesia. <https://ditjenppi.menlhk.go.id/berita/4013-pre-sessional-meeting-perdana-indonesiasiap-mengukuhkan-komitmen-global-melalui-perdagangan-karbon>
- Kurniawan, D., & Sari, M. R. (2020). Analisis Biaya Operasional Alat Angkut di Perkebunan Kelapa Sawit. <https://jurnalindustri.petra.ac.id/index.php/ind/issue/view/3316>
- Nasution, M. D., & Putra, F. (2023). Biofuel Development from Palm Oil Waste. from <https://ejournal2.undip.ac.id/index.php/jebt>
- OECD. (2021). . Low-Carbon Development: Policies and Technologies. Organisation for Economic Co-Operation and Development. <https://www.oecd.org/en/topics/environment.html>
- Suharto, H., Sugiarto, & Lestari, P. (2021). Manajemen Pemeliharaan Armada Transportasi di Perkebunan.

- Sumarno, H., Lestari, P., & Munandar, A. (2020). Kajian Biaya Transportasi Perkebunan Kelapa Sawit Berbasis Energi Alternatif. www.giz.de
- Wahyudi, R., Setiawan, T., & Prabowo, H. (2021). Efisiensi Sistem Transportasi TBS dan Kontribusinya Terhadap Biaya Produksi. *Jurnal Teknologi Pertanian Tropis*, 9(1), 41. <https://scholar.google.com/citations?user=kUqwLPEAAAAJ&hl=id>