

Estimasi Emisi CO₂ Berdasarkan Metode IPCC pada Alat Gali Muat dan Alat Angkut di Tambang Batubara

Yunida Iashania^{1*}, Asri Fridtriyanda², Onie Dian Sanitha³, Iyes Rani Simanullang⁴, Jeremy Junior Kurniawan⁵

^{1,3}Program Studi Teknik Pertambangan, Universitas Palangka Raya, Indonesia

^{2,4,5}Program Studi Arsitektur, Universitas Palangka Raya, Indonesia

Corresponding Author's e-mail : yunida.iashania@mining.upr.ac.id

ARMADA
JURNAL PENELITIAN MULTIDISIPLIN

e-ISSN: 2964-2981

ARMADA : Jurnal Penelitian Multidisiplin

<https://ejournal.45mataram.ac.id/index.php/armada>

Vol. 04, No. 08 Agustus, 2026

Page: 3359-3366

DOI:

<https://doi.org/10.55681/armada.v4i8.2571>

Article History:

Received: Juni 19, 2026

Revised: Juli 22, 2026

Accepted: Agustus 17, 2026

Abstract : The coal mining sector is an industrial activity that generates greenhouse gas (GHG) emissions, particularly carbon dioxide (CO₂), due to fossil fuel consumption by heavy equipment. Emission control efforts are an important component in implementing the sustainable mining concept to support sustainable environmental management. This study aims to estimate CO₂ emissions generated by loading and hauling equipment in coal mining activities using a method referring to the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) guidelines. The research employed a quantitative descriptive method using data on fuel consumption, loading equipment productivity, the number of hauling units, and hauling distance. The results show that excavator E5417 had the highest productivity of 236.80 bcm/hour, with CO₂ emissions of 46.68 tonnes CO₂/month. Excavator E421 achieved productivity of 207.01 bcm/hour, with emissions of 50.68 tonnes CO₂/month, whereas excavator E5414 had the lowest productivity of 185.86 bcm/hour and the highest emissions of 60.02 tonnes CO₂/month. Total CO₂ emissions generated by 15 hauling units reached 500.18 tonnes CO₂/month. The findings indicate that hauling equipment produced higher total CO₂ emissions overall; therefore, improving operational efficiency can serve as a strategy for reducing emission intensity in coal mining operations.

Keywords: CO₂ Emissions, Excavator, Truck, IPCC, Mining

Abstrak : Sektor pertambangan batubara merupakan salah satu kegiatan industri yang menghasilkan emisi gas rumah kaca (GRK), terutama karbon dioksida (CO₂), akibat penggunaan bahan bakar fosil pada alat berat. Upaya pengendalian emisi menjadi bagian penting dalam penerapan konsep *sustainable mining* guna mendukung pengelolaan lingkungan yang berkelanjutan. Penelitian ini bertujuan untuk mengestimasi emisi CO₂ yang dihasilkan oleh alat gali muat dan alat angkut pada kegiatan penambangan batubara menggunakan metode yang mengacu pada pedoman *Intergovernmental Panel on Climate Change* (IPCC). Metode penelitian yang digunakan deskripsi kuantitatif menggunakan data konsumsi bahan bakar, produktivitas alat gali muat, jumlah alat angkut, dan jarak pengangkutan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa excavator E5417 memiliki produktivitas tertinggi sebesar 236,80 bcm/jam

dengan emisi CO₂ sebesar 46,68 ton CO₂/bulan. Excavator E421 memiliki produktivitas sebesar 207,01 bcm/jam dengan emisi sebesar 50,68 ton CO₂/bulan, sedangkan excavator E5414 memiliki produktivitas terendah sebesar 185,86 bcm/jam dengan emisi tertinggi sebesar 60,02 ton CO₂/bulan. Total emisi CO₂ yang dihasilkan oleh 15 unit alat angkut mencapai 500,18 ton CO₂/bulan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa alat dengan alat angkut memiliki total emisi CO₂ yang lebih banyak, sehingga peningkatan efisiensi operasional dapat menjadi strategi untuk menurunkan intensitas emisi pada kegiatan penambangan batubara.

Kata Kunci : Emisi CO₂, Alat Gali Muat, Alat Angkut, IPCC, Tambang

PENDAHULUAN

Industri pertambangan batubara merupakan salah satu sektor strategis dalam penyediaan energi nasional, namun aktivitas operasionalnya berpotensi menghasilkan emisi gas rumah kaca (GRK) dalam jumlah besar (Putri et al., 2024; Rahmatullah et al., 2024.; World Resources Institute & World Business Council for Sustainable Development, 2004) Kegiatan pertambangan batubara berkontribusi penting terhadap penyediaan energi dan pertumbuhan ekonomi nasional. Namun, aktivitas operasional tambang juga memberikan dampak lingkungan yang berasal dari penggunaan bahan bakar fosil pada alat mekanis tambang (Aramendia et al., 2023). Emisi GRK pada sektor pertambangan umumnya didominasi oleh karbon dioksida (CO₂), metana (CH₄), dan dinitrogen oksida (N₂O) yang dihasilkan selama proses pengupasan lapisan penutup (*overburden removal*), *coal getting*, hauling, dan kegiatan penunjang operasional lainnya (Rahmatullah et al., 2024; Ashtiani et al., 2025; Fuentes et al., 2026).

Pada kegiatan tambang batubara terbuka, alat gali muat dan alat angkut menjadi komponen utama yang memiliki konsumsi bahan bakar paling besar dibandingkan peralatan operasional lainnya. Excavator digunakan untuk kegiatan penggalian dan pemuatan material *overburden* maupun batubara, sedangkan dump truck atau hauling truck digunakan untuk mengangkut material menuju disposal atau stockpile. Tingginya intensitas penggunaan alat berat berbahan bakar diesel menyebabkan peningkatan konsumsi solar yang secara langsung berkontribusi terhadap peningkatan emisi CO₂ ke atmosfer (Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), 2006; Tokac et al., 2025; Bao et al., 2026).

Pendekatan inventarisasi dapat dilakukan dengan mengidentifikasi potensi emisi potensi karbon. Metode yang umum digunakan adalah berdasarkan pedoman dari *Intergovernmental Panel on Climate Change* (IPCC) (Intergovernmental Panel on Climate Change, 2019). Metode IPCC menyediakan faktor emisi standar untuk berbagai jenis ekosistem dan aktivitas yang dapat digunakan sebagai acuan dalam memperkirakan emisi yang berasal dari perubahan penggunaan lahan maupun pemakaian bahan bakar (Uda et al., 2026; Anonim, 2018). Pada kegiatan tambang terbuka di Desa Tumbang Kajuei, penggunaan alat berat seperti excavator PC 400 dan alat angkut Scania membutuhkan konsumsi bahan bakar yang besar selama kegiatan *overburden removal*. Oleh karena itu, diperlukan estimasi emisi CO₂ untuk mengetahui sumber emisi utama serta besaran emisi karbon yang dihasilkan pada kegiatan tambang.

METODE PENELITIAN

Penelitian ini mengambil data di sebuah perusahaan tambang batubara, di Desa Tumbang Kajuei. Penelitian dilakukan pada kegiatan operasional berfokus pada 3 (tiga) unit excavator sebagai alat gali muat jenis Komatsu PC 400 dan 15 (lima belas) unit alat angkut jenis Scania. Material yang diangkut pada kegiatan tambang ini adalah material *overburden*, dengan jarak angkut dari pit ke disposal rata-rata 1,2 km.

Penelitian ini menggunakan metode kuantitatif deskriptif dengan pendekatan studi kasus pada kegiatan operasional tambang batubara. Data diperoleh melalui observasi lapangan, data primer, dan data sekunder. Observasi lapangan dilakukan untuk mengetahui kondisi operasional alat gali muat dan alat angkut, termasuk jarak *hauling*, kondisi jalan angkut, dan aktivitas pemuatan material (Abdi & Taghipour, 2018; Alrasyid et al., 2024; Ashtiani et al., 2025). Data primer meliputi produktivitas alat gali muat, jumlah alat angkut yang beroperasi, dan parameter operasional lainnya yang diperoleh melalui pengamatan langsung. Data sekunder diperoleh dari laporan perusahaan berupa konsumsi bahan bakar, data produksi, spesifikasi alat berat, serta faktor emisi yang mengacu pada pedoman IPCC. Analisis emisi CO₂ dilakukan menggunakan metode Tier 1 IPCC (Rodvalho et al., 2016; Anonim, 2018).

Perhitungan Produktivitas

Perhitungan produktivitas kinerja alat gali muat menggunakan persamaan berikut: (Indonesianto, 2005; Iashania, 2011) :

$$Q = \frac{3600}{CT} \times Kb \times Bff \times E \times Sf$$

Dimana:

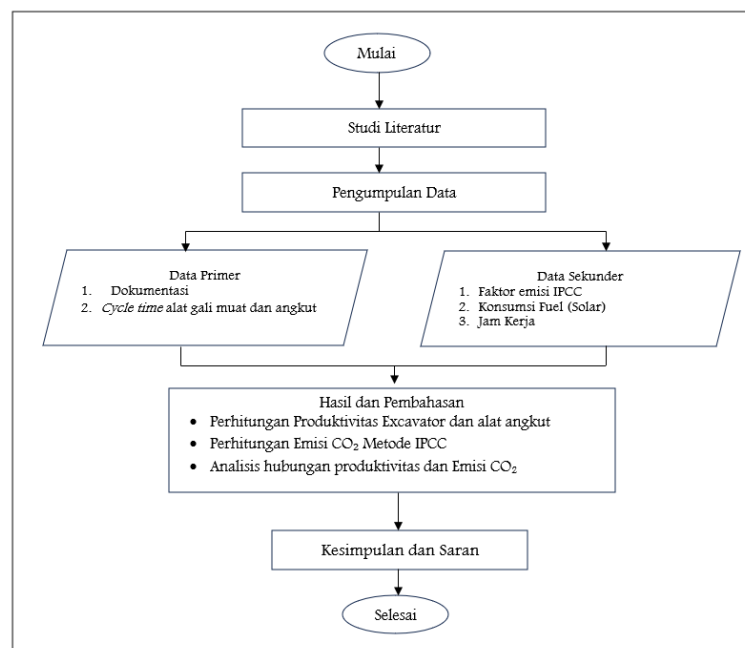
- Q = Produktivitas excavator (m³/jam)
- Kb = Kapasitas bucket (m³)
- Bff = Faktor pengisian *bucket* (%)
- E = Effisien kerja alat (%)
- Sf = *Swell factor* (%)

Perhitungan Emisi CO₂

Estimasi emisi dilakukan menggunakan metode Tier 1 berdasarkan pedoman IPCC dengan persamaan:

$$Emisi\ CO_2 = Data\ Aktivitas \times Faktor\ Emisi$$

Data aktivitas berupa konsumsi bahan bakar solar yang digunakan oleh alat berat selama periode pengamatan, sedangkan faktor emisi mengacu pada nilai standar IPCC untuk bahan bakar diesel.



Gambar 1. Diagram alir penelitian

HASIL DAN PEMBAHASAN

Lokasi penelitian merupakan salah satu perusahaan tambang di wilayah kecamatan rungan, kabupaten Gunung Mas, Provinsi Kalimantan Tengah, menggunakan metode sistem tambang terbuka. Jarak dari pit ke disposal sekitar 1,2 km, menggunakan alat gali muat sebanyak 3 excavator tipe Komatsu PC 400 (E421, E5417, E5414) dan alat angkut tipe Scania sebanyak 15 unit.



Gambar 2. Lokasi posisi alat gali muat di *pit*

Perhitungan produktivitas

Berdasarkan hasil perhitungan menggunakan persamaan 1, dapat dilihat hasil produktivitas tiap unit sebagai berikut.

Tabel 1. Hasil perhitungan produktivitas excavator

Excavator	Produktivitas (bcm/jam)	Target (bcm/jam)	Pencapaian (%)
E421	207,01	230	90,00
E5417	236,80	230	102,96
E5414	185,86	230	80,81

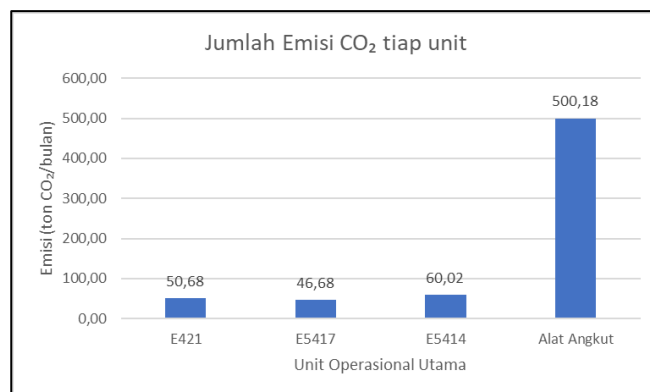
Berdasarkan Tabel di atas, hanya excavator E5417 yang mampu melampaui target produktivitas perusahaan sebesar 230 bcm/jam. Menurut penelitian terdahulu produktivitas alat gali muat yang sangat berpengaruh adalah kondisi tempat kerja (*front loading*) (Belinda et al., 2025 ; Alamdari et al., 2022). Berdasarkan tabel 1, alat gali muat yaitu E421 dan E5414 masih berada di bawah target produktivitas. Hal ini dikarenakan kondisi *front loading* pada excavator E421 berada dipersimpangan jalan dan sempit, sehingga menghambat alat angkut untuk manuver. Sementara untuk excavator E5414 tidak mencapai target, karena kondisi front loading yang sempit dan posisi alat gali muat *bottom loading*, sehingga *cycle time* alat gali muat tinggi.

Perhitungan emisi CO₂ metode IPCC

Pada aktivitas pengupasan batuan penutup (*overburden*), emisi GRK terutama berasal dari pembakaran bahan bakar minyak (BBM) yang digunakan alat gali muat dan alat angkut (Cawley et al., 2011; Fatar et al., 2025). Berdasarkan hasil perhitungan menggunakan persamaan 2, menggunakan data konsumsi fuel yang diperoleh tiap unit untuk alat gali muat dan alat angkut sebagai berikut.

Tabel 2. Hasil perhitungan CO₂ dengan menggunakan metode IPCC

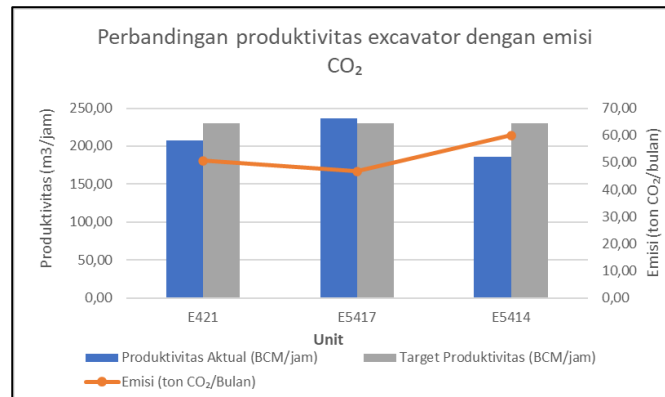
No	Tipe	Unit	Jumlah unit	Konsumsi Fuel (Liter/jam)	Jam Kerja (/bulan)	Faktor Emisi Solar (kg CO ₂ /liter)	Emisi (ton CO ₂ /Bulan)
1	Excavator	E421	1	38	500,00	2,67	50,68
2	Excavator	E5417	1	35	500,00	2,67	46,68
3	Excavator	E5414	1	45	500,00	2,67	60,02
4	Scania	Alat angkut	15	25	500,00	2,67	500,18
Total							657,56

**Gambar 3.** Jumlah emisi CO₂ tiap unit

Kegiatan pengangkutan material dilakukan menggunakan 15 unit truck dengan jarak angkut dari pit menuju disposal sebesar 1,2 km. Berdasarkan hasil perhitungan, total emisi CO₂ yang dihasilkan seluruh alat angkut mencapai 500,18 ton CO₂/bulan. Besarnya emisi alat angkut menunjukkan bahwa aktivitas hauling merupakan sumber emisi terbesar dibandingkan alat gali muat. Jika dibandingkan dengan total emisi excavator sebesar 157,39 ton CO₂/bulan, maka kontribusi alat angkut mencapai sekitar 76% dari total emisi operasional alat berat dapat dilihat pada gambar 3. Berdasarkan penelitian sebelumnya (Oh et al., 2017) sejalan dengan hasil penelitian ini yaitu tingginya emisi pada alat angkut dipengaruhi oleh beberapa faktor, yaitu jumlah unit yang lebih banyak, konsumsi bahan bakar tinggi selama perjalanan, kondisi jalan angkut, jarak hauling dari pit menuju disposal. Oleh karena itu, upaya pengurangan emisi dapat difokuskan pada optimasi jarak angkut, perbaikan kondisi jalan tambang, pengurangan waktu tunggu, serta peningkatan keserasian kerja antara alat gali muat dan alat angkut (Abdi et al., 2018).

Analisis hubungan produktivitas dan Emisi CO₂

Penelitian sebelumnya, jika peningkatan jumlah konsumsi energi besar maka jumlah produksi emisi GRK akan semakin meningkat atau tinggi, sebaliknya (Awuah-Offei, 2016; Roland Fatar et al., 2025). Berdasarkan hasil perhitungan berikut gambar grafik menggambarkan perbandingan antara produktivitas target, aktual dan emisi CO₂ pada lokasi penelitian.



Gambar 4. Analisis hubungan antara target, aktual produktivitas dan emisi CO₂

Gambar 4 menunjukkan bahwa produktivitas alat memiliki pengaruh terhadap efisiensi penggunaan bahan bakar. Excavator E5417 yang memiliki produktivitas tertinggi menghasilkan emisi lebih rendah dibandingkan excavator lainnya. Sebaliknya, E5414 yang memiliki produktivitas terendah menghasilkan emisi tertinggi karena waktu operasi dan konsumsi bahan bakar yang relatif lebih besar untuk menghasilkan volume material yang lebih sedikit. Jika dibandingkan dengan target produktivitas perusahaan, excavator E5417 merupakan unit yang paling efisien baik dari sisi produksi maupun emisi. Kondisi ini menunjukkan bahwa peningkatan produktivitas dapat menjadi salah satu strategi pengurangan emisi gas rumah kaca pada kegiatan pemuatan material. Kondisi ini mengindikasikan bahwa peningkatan efisiensi operasi alat berat tidak hanya berdampak pada peningkatan produksi tetapi juga mendukung pengurangan emisi gas rumah kaca. Dengan demikian, pengelolaan produktivitas alat berat dapat menjadi salah satu strategi implementasi konsep sustainable mining dalam kegiatan operasional tambang batubara (Soofastaei et al., 2016).

KESIMPULAN DAN SARAN

Berdasarkan hasil penelitian mengenai estimasi CO₂ pada kegiatan pengupasan *overburden* menggunakan IPCC adalah Estimasi emisi CO₂ menggunakan metode Tier 1 IPCC menunjukkan bahwa excavator E421 menghasilkan emisi sebesar 50,68 ton CO₂/bulan, excavator E5417 sebesar 46,68 ton CO₂/bulan, dan excavator E5414 sebesar 60,02 ton CO₂/bulan. Total emisi yang dihasilkan oleh 15 unit alat angkut mencapai 500,18 ton CO₂/bulan, sehingga total emisi operasional alat berat sebesar 657,56 ton CO₂/bulan. Saran untuk kegiatan ini adalah perlunya evaluasi kinerja alat gali muat dan alat angkut, agar adanya upaya pengurangan emisi dengan dilakukan perbaikan kondisi *front* kerja dan pemantauan konsumsi bahan bakar secara berkala. Perlunya penelitian lanjutan untuk mengembangkan analisis emisi gas rumah kaca dengan menggunakan metode IPCC Tier 2 dan Tier 3.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis berterima kasih pada pihak terkait yang bantuan selama pelaksanaan penelitian ini. Secara khusus, penulis menyampaikan apresiasi kepada perusahaan tempat penelitian dilaksanakan atas izin, fasilitas, dan data yang diberikan sehingga penelitian ini dapat diselesaikan dengan baik. Penulis juga mengucapkan terima kasih kepada rekan-rekan yang telah memberikan masukan, bantuan teknis, serta dukungan selama proses pengumpulan dan pengolahan data.

DAFTAR PUSTAKA

Abdi, A., & Taghipour, S. (2018). An optimization model for fleet management with economic and environmental considerations, under a cap-and-trade market. *Journal of Cleaner Production*, 204, 130–143. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.08.345>

- Alamdari, S., Basiri, M. H., Mousavi, A., & Soofastaei, A. (2022). Application of machine learning techniques to predict haul truck fuel consumption in open-pit mines. *Journal of Mining and Environment*, 13(1), 69–85. <https://doi.org/10.22044/jme.2022.11577.2145>
- Anonim. (2018). *Pedoman Penghitungan dan Pelaporan Inventarisasi Gas Rumah Kaca*.
- Alrasyid, S.M., Hutajulu, Y.Y., Indrajaya F., Iashania, Y., & Ferdinandus. (2024). Produktivitas Alat Gali Muat Pada Pengupasan Overburden Dengan Metode Overall Equipment Effectiveness (OEE) di Pit East Kawi PT. Marunda Grahamineral. *Syntax Idea*, 6(3), 1419–1434. <https://doi.org/10.46799/syntax-idea.v6i3.3129>
- Aramendia, E., Brockway, P. E., Taylor, P. G., & Norman, J. (2023). Global energy consumption of the mineral mining industry: Exploring the historical perspective and future pathways to 2060. *Global Environmental Change*, 83, 102745. <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2023.102745>
- Putri A., Suwardi, Widjaja, H., Suryaningtyas, D. T., Oktariani, P., & Randrikasari, O. (2024). Perhitungan Emisi Gas Rumah Kaca dalam Kawasan Pertambangan. *Jurnal Pengelolaan Lingkungan Pertambangan*, 1(1), 21–28. <https://doi.org/10.70191/jplp.v1i1.55151>
- Awuah-Offei, K. (2016). Energy efficiency in mining: A review with emphasis on the role of operators in loading and hauling operations. *Journal of Cleaner Production*, 117, 89–97. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.01.035>
- Bao, H., Knights, P., Kizil, M., & Nehring, M. (2026). Comparative assessment of CO2 emissions from mining haulage truck alternatives to achieve 2030 climate targets. *Resources Policy*, 113, 105826. <https://doi.org/10.1016/j.resourpol.2025.105826>
- Belinda, R., Arisanti, R., Yovanda, R.. (2025). Evaluasi Biaya Konsumsi Bahan Bakar dalam Kegiatan Coal Getting Seam E Blok Kungkulan PT Bumi Merapi Energi. *HUMANIORASAINS Jurnal Humaniora Dan Sosial Sains*, 2(3), 3032–5463.
- Canullan Fuentes, D., Anani, A., Adewuyi, S. O., & Hekmat, A. (2026). Simulation-based evaluation of energy and operational efficiency for mine haul truck fuel alternatives. *SIMULATION*, 102(4), 233–254. <https://doi.org/10.1177/00375497251412903>
- Cawley, T., Wilkinson, S., Pero, L., Parminter, G., Browning, P., & others. (2011). *Analyses of diesel use for mine haul and transport operations*. <https://doi.org/10.13140/RG.2.1.1875.8008>
- Fatar, R., Hasan, H., & Pontus, A. J. (2025). Analisis konsumsi bahan bakar alat gali muat-angkut pada kegiatan pengupasan overburden PIT Seloklai. *Venus: Jurnal Publikasi Rumpun Ilmu Teknik*, 3(3), 22–34. <https://doi.org/10.61132/venus.v3i3.844>
- Iashania, Y. (2011). Kajian Teknis Fuel Ratio Peralatan Mekanis Pembongkaran Overburden. Tambang Batubara PT Darma Henwa, TBK Job Site Asam-asam Kec. Jorong Kab. Tanah Laut, Kalimantan Selatan. *Skripsi, Prodi Teknik Pertambangan, Universitas Lambung Mangkurat, Banjarbaru*.
- Indonesianto, Y. (2005). *Pemindahan Tanah Mekanis*. Teknik Pertambangan, Fakultas Teknologi Mineral. Universitas Pembangunan Nasional “Veteran” Yogyakarta.
- Intergovernmental Panel on Climate Change. (2019). *2019 refinement to the 2006 IPCC guidelines for national greenhouse gas inventories*. IPCC. <https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2019rf/index.html>
- Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). (2006). *IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories*. Geneva: IPCC.
- Uda, S. A., Kittie Uda, S., & Devia. (2026). Estimasi Emisi Karbon pada Pelaksanaan Konstruksi Cetak Sawah di Kecamatan Sebangau Kuala, Kabupaten Pulang Pisau. *Teras Jurnal : Jurnal Teknik Sipil*, 16(1), 195–206. <https://doi.org/10.29103/tj.v16i1.1338>
- Kazemi Ashtiani, M., Moradi Afrapoli, A., Doucette, J., & Askari-Nasab, H. (2025). A stochastic energy-efficient robust simulation-based truck dispatching optimization for simultaneous GHG mitigation and operational excellence in open-pit mines. *Simulation Modelling Practice and Theory*, 138, 103026. <https://doi.org/10.1016/j.simpat.2024.103026>
- Oh, S., Choi, Y., & Park, H.-D. (2017). Calculation of a diesel truck’s carbon dioxide emissions in an underground mine considering road gradient, load capacity and emission standards.

- Journal of the Korean Society of Mineral and Energy Resources Engineers*, 54(2), 100–109. <https://doi.org/10.12972/ksmer.2017.54.2.100>
- Rahmatulah, R., Rijalul Haq, S., Suharyadi, H., Ardian, A., Soekamto, U., Teknik Pertambangan, J., & Teknologi Mineral dan Energi, F. (2024). Analisis Fleet Management System untuk Optimalisasi Konsumsi Energi dan Emisi Gas Rumah Kaca pada Kegiatan Pengupasan Overburden di Pit 3 Banko Tengah PT Bukit Asam Tbk, Sumatera Selatan. *Jurnal Teknologi Pertambangan*, 10(1).
- Rodvalho, E. da C., Lima, H. M., & de Tomi, G. (2016). New approach for reduction of diesel consumption by comparing different mining haulage configurations. *Journal of Environmental Management*, 172, 177–185. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2016.02.048>
- Roland Fatar, Harjuni Hasan, & Albertus Juvensius Pontus. (2025). Analisis Konsumsi Bahan Bakar Alat Gali Muat-Angkut pada Kegiatan Pengupasan Overburden PIT Seloklai. *Venus: Jurnal Publikasi Rumpun Ilmu Teknik*, 3(3), 22–34. <https://doi.org/10.61132/venus.v3i3.844>
- Soofastaei, A., Aminossadati, S. M., Arefi, M. M., & Kizil, M. S. (2016). Development of a multi-layer perceptron artificial neural network model to determine haul trucks energy consumption. *International Journal of Mining Science and Technology*, 26(2), 285–293. <https://doi.org/10.1016/j.ijmst.2015.12.015>
- Tokac, B., Zhang, Q., & Sari, Y. A. (2025). Environmental and economic comparison of diesel and electric trucks in open-pit mining operations. *Journal of Cleaner Production*, 507, 145540. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2025.145540>
- World Resources Institute, & World Business Council for Sustainable Development. (2004). *The greenhouse gas protocol: A corporate accounting and reporting standard* (Revised). World Resources Institute and World Business Council for Sustainable Development. <https://ghgprotocol.org/sites/default/files/ghgp/standards/ghg-protocol-revised.pdf>