



Perancangan Metodologi Evaluatif Terintegrasi untuk Analisis Efisiensi Energi dan Performa Sistem Hauling Batubara (Studi Literatur pada PT EBS)

Rizky Maulana Saputra¹, Supriyono²

^{1,2}Teknik Mesin, Universitas Gunadarma, Indonesia

Jl. Margonda Raya No. 100, Pondok Cina, Beji, Depok, Jawa Barat 16424

Korespondensi penulis: rizkymln017@gmail.com

Abstract. *The coal mining industry faces significant challenges in reducing operational costs and improving energy efficiency, particularly in material transportation (hauling) systems where dump trucks serve as the primary means of transport. Operational inefficiencies are often caused by road conditions, load weight, waiting times, and operator behavior. This study aims to design an integrated evaluative methodology to assess the energy efficiency and performance of the coal hauling system at PT EBS. A literature review approach was adopted, focusing on three key indicators: Overall Equipment Effectiveness (OEE), cycle time, and fuel consumption per ton of material. Previous studies highlight that the integration of these indicators provides a comprehensive framework for evaluating hauling system effectiveness. The outcome of this study is an initial methodology design that can serve as a foundation for future empirical research using actual field data. The main contribution lies in establishing a conceptual basis for monitoring systems and strategies to enhance energy efficiency in coal hauling operations.*

Keywords: coal hauling, energy efficiency, OEE, cycle time, fuel consumption, evaluative methodology

Abstrak. Industri pertambangan batubara menghadapi tantangan dalam menekan biaya operasional dan meningkatkan efisiensi energi, khususnya pada sistem hauling yang bergantung pada dump truck sebagai alat utama transportasi material. Berbagai faktor seperti kondisi jalan, beban angkut, waktu tunggu, dan perilaku operator berkontribusi terhadap inefisiensi operasional dan konsumsi bahan bakar yang tinggi. Penelitian ini bertujuan untuk merancang kerangka metodologi evaluatif yang terintegrasi untuk menilai efisiensi energi dan performa sistem hauling batubara pada PT EBS. Pendekatan yang digunakan melibatkan studi literatur terhadap tiga indikator utama, yaitu Overall Equipment Effectiveness (OEE), waktu siklus (cycle time), dan konsumsi bahan bakar per ton material. Kajian pustaka dari berbagai sumber menyimpulkan bahwa integrasi ketiga indikator tersebut dapat memberikan gambaran komprehensif terhadap efektivitas operasional hauling. Hasil dari studi ini menghasilkan rancangan awal metodologi evaluasi yang dapat dijadikan acuan untuk penelitian lanjutan berbasis data aktual di lapangan. Kontribusi utama penelitian ini adalah menyediakan dasar konseptual bagi pengembangan sistem pemantauan dan peningkatan efisiensi energi pada industri hauling batubara.

Kata kunci: hauling batubara, efisiensi energi, OEE, cycle time, konsumsi bahan bakar, metodologi evaluatif

LATAR BELAKANG

Industri pertambangan batubara di Indonesia memiliki kontribusi besar terhadap perekonomian nasional, khususnya dalam penyediaan energi primer. Namun, dalam operasionalnya, industri ini menghadapi berbagai tantangan, terutama terkait dengan efisiensi energi dan pengendalian biaya. Salah satu aktivitas yang menyerap energi dalam jumlah besar adalah sistem transportasi material atau sistem *hauling*,

yang sebagian besar mengandalkan dump truck sebagai alat angkut utama dari front tambang menuju *stockpile* atau tempat pemrosesan (Zhang et al., 2020).

Sejumlah faktor seperti kondisi jalan tambang, kapasitas muatan, waktu antrean, dan perilaku operator memiliki pengaruh signifikan terhadap efisiensi operasional sistem hauling (Murthy & Suraj, 2017). Ketidakefisienan dalam sistem ini dapat menyebabkan konsumsi bahan bakar yang tinggi, waktu kerja yang tidak optimal, serta menurunnya produktivitas. Oleh karena itu, evaluasi menyeluruh terhadap sistem hauling menjadi penting sebagai dasar perbaikan performa dan efisiensi energi.

Berbagai metode telah dikembangkan untuk menilai performa peralatan tambang. Salah satu metode yang banyak digunakan adalah Overall Equipment Effectiveness (OEE) yang menggabungkan tiga indikator utama, yaitu *availability* (ketersediaan), *performance* (kinerja), dan *quality* (kualitas hasil kerja) (Nakajima, 1988; Afriyanti et al., 2019). Selain itu, analisis cycle time memberikan wawasan terhadap distribusi waktu operasional dalam tahapan *loading*, *hauling*, dan *dumping*, serta membantu mengidentifikasi potensi *bottleneck* (Murthy & Suraj, 2017). Di sisi lain, indikator konsumsi bahan bakar per ton material yang diangkut juga mulai digunakan sebagai ukuran efisiensi energi dalam kegiatan hauling (Wang et al., 2021).

Meskipun masing-masing metode evaluatif tersebut telah banyak digunakan secara terpisah dalam penelitian dan praktik operasional, belum banyak studi yang mengintegrasikan ketiga indikator utama tersebut (OEE, *cycle time*, dan konsumsi bahan bakar) dalam satu kerangka evaluatif yang komprehensif, khususnya di sektor pertambangan Indonesia. Kondisi ini menunjukkan adanya kebutuhan untuk merancang metodologi evaluasi yang terintegrasi guna memberikan gambaran menyeluruh terhadap performa sistem hauling dan efisiensi penggunaan energi.

Penelitian ini mengambil studi kasus pada PT EBS, sebuah perusahaan tambang batubara nasional, untuk merancang kerangka evaluatif tersebut. Dengan landasan teori yang kuat dan pendekatan literatur sistematis, penelitian ini diharapkan dapat memberikan dasar konseptual bagi penelitian terapan berbasis data aktual serta mendukung upaya efisiensi energi dan optimasi operasional di lapangan.

METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan pendekatan deskriptif-kualitatif berbasis studi literatur dan estimasi data dengan tujuan merancang dan memvisualisasikan kerangka evaluatif sistem hauling batubara. Pendekatan ini dipilih karena penelitian bersifat konseptual dan belum melibatkan pengumpulan data empiris langsung di lapangan. Fokus penelitian adalah pada pengembangan metodologi evaluatif berbasis integrasi indikator Overall Equipment Effectiveness (OEE), cycle time, dan konsumsi bahan bakar (BBM). Penelitian ini terdiri atas empat tahapan utama sebagai berikut:

1. Kajian Literatur Sistematis

Tahap awal dilakukan dengan mengumpulkan dan menganalisis literatur relevan dari jurnal ilmiah nasional dan internasional, buku teknis, laporan studi kasus, serta standar industri terkait evaluasi sistem hauling batubara.

Tujuan:

- a. Mengidentifikasi indikator evaluasi yang relevan: OEE, *cycle time*, dan konsumsi bahan bakar.
- b. Memahami rumus, asumsi, dan parameter pengukuran dari masing-masing indikator.
- c. Mengkaji praktik terbaik dan studi terdahulu sebagai pembandingan (*benchmarking*).

2. Penyusunan Variabel dan Indikator Evaluatif

Berdasarkan hasil kajian literatur, dilakukan penyusunan daftar variabel utama dan sub-indikator untuk masing-masing metode evaluasi. Masing-masing indikator dikategorikan berdasarkan:

- a. Variabel input (misalnya: waktu kerja alat, produksi aktual, konsumsi BBM)
- b. Formula perhitungan
- c. Unit pengukuran dan parameter simulatif

3. Estimasi Data Awal (Skenario PT EBS)

Karena penelitian ini bersifat non-empiris, digunakan pendekatan **estimasi data** berbasis **skenario operasional realistis** pada sistem hauling PT EBS. Estimasi dilakukan dengan:

- a. Menyusun asumsi waktu operasional berdasarkan standar industri hauling (misalnya: waktu loading 3 menit, hauling 7 menit, dumping 2 menit, return 6 menit).
- b. Menentukan volume angkut dan konsumsi bahan bakar per siklus.
- c. Menyusun tiga skenario kondisi operasi: optimal, rata-rata, dan inefisien.

4. Visualisasi dan Analisis Simulatif

Data estimasi dari ketiga skenario dianalisis secara **deskriptif** dan divisualisasikan dalam bentuk:

- a. Grafik hubungan antara cycle time dan efisiensi BBM
- b. Matriks performa berdasarkan skor OEE simulatif
- c. Perbandingan antar skenario terhadap total produksi dan konsumsi energi

Tujuan tahap ini:

- a. Menunjukkan potensi perbedaan performa sistem hauling berdasarkan kondisi lapangan
- b. Menggambarkan keunggulan pendekatan evaluatif terpadu dibandingkan evaluasi satu indikator

Metodologi ini bersifat konseptual dan dirancang sebagai dasar bagi penelitian tahap lanjut yang akan mengimplementasikan kerangka evaluatif ini dengan menggunakan data aktual dari operasional PT EBS.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil Estimasi Awal Sistem Hauling di PT EBS

Penelitian ini dilakukan sebagai kajian awal berbasis literatur dan estimasi operasional di PT EBS, sebuah perusahaan tambang batubara yang menjalankan sistem hauling dua segmen utama, yaitu dari pit ke ROM (Raw Coal Stockpile) dan dari ROM ke jetty (pelabuhan pengapalan). Data yang digunakan bersifat estimatif berdasarkan observasi lapangan, logsheet operasional, dan asumsi teknis unit hauling. Rentang waktu yang dikaji mencakup operasional pada bulan Juni 2025, dan lokasi kegiatan berada di area hauling internal PT EBS di Kalimantan Selatan.

Estimasi Waktu Siklus dan Produktivitas

Estimasi waktu siklus hauling dan output harian ditampilkan pada Tabel 1. Siklus PIT–ROM memiliki waktu tempuh 98 menit per ritase, sedangkan ROM–Jetty mencapai 188 menit per ritase. Dengan dua shift kerja per hari dan waktu efektif kerja 85%, satu unit dump truck diperkirakan dapat menyelesaikan 4 ritase untuk PIT–ROM dan 2 ritase untuk ROM–Jetty.

Tabel 1. Estimasi Siklus Hauling dan Konsumsi Energi per Segmen

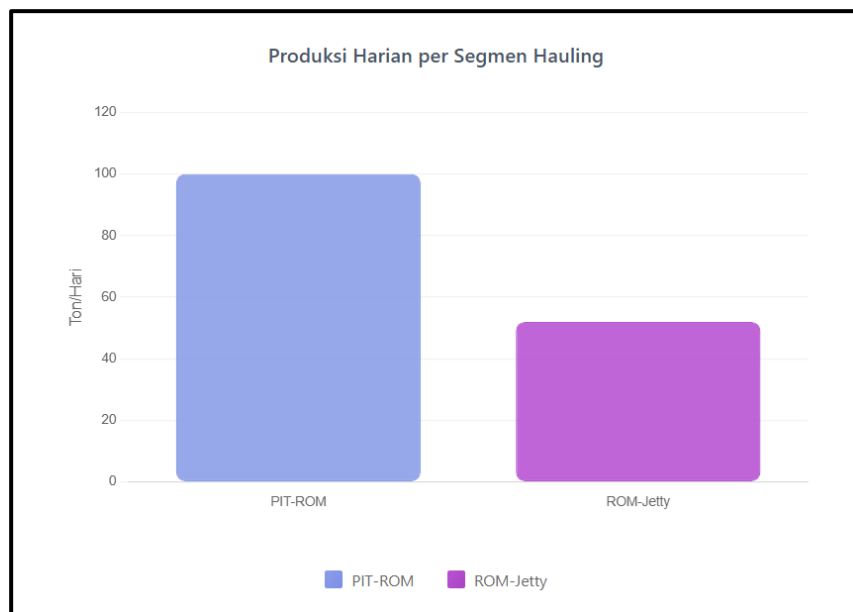
Segmen Hauling	Waktu (menit)	Ritase/Hari	Produksi (ton/hari)	BBM/Rit (L)	BBM/Hari (L)	BBM/Ton (L/Ton)
PIT–ROM	98	4	100	15	60	0.6
ROM–Jetty	188	2	50	15	30	0.6

(Sumber: Estimasi Operasional PT EBS, 2025)

Tabel 1 menunjukkan bahwa meskipun konsumsi bahan bakar per ton relatif sama antara dua segmen, produktivitas PIT–ROM dua kali lebih tinggi. Ini menunjukkan bahwa ROM–Jetty memiliki efisiensi waktu kerja yang lebih rendah akibat waktu perjalanan lebih panjang.

Visualisasi Data Operasional

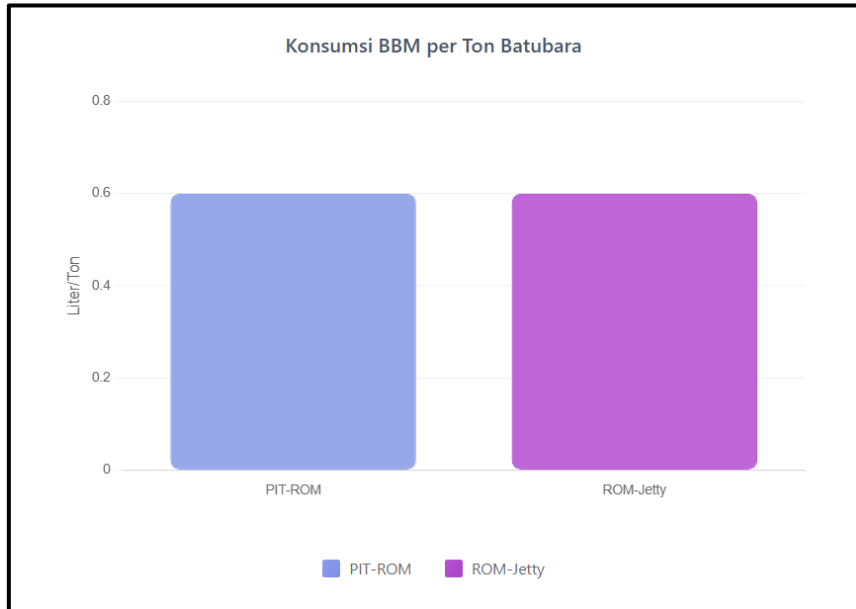
Gambar 1 dan Gambar 2 menggambarkan perbandingan visual antara output dan konsumsi energi masing-masing segmen.



(Sumber: Simulasi Penulis, 2025)

Gambar 1. Produksi Harian per Segmen Hauling

Menunjukkan bahwa PIT–ROM menghasilkan output harian 100 ton per unit, sedangkan ROM–Jetty hanya 50 ton.



(Sumber: Simulasi Penulis, 2025)

Gambar 2. Konsumsi BBM per Ton Batubara

Kedua segmen menunjukkan nilai BBM/ton yang sama, namun waktu idle dan ritase menunjukkan ketidakefisienan di segmen ROM–Jetty.

Interpretasi Hasil dan Keterkaitannya dengan Teori

1. Efisiensi dan OEE Sistem Hauling

Efektivitas sistem hauling tidak hanya ditentukan oleh output atau konsumsi energi, tetapi oleh keseluruhan performa alat. Penilaian dengan metode OEE sangat relevan sebagaimana dikemukakan oleh Nakajima (1988), dan diperkuat oleh Afriyanti et al. (2019) yang menunjukkan OEE rata-rata alat berat tambang di Indonesia masih di bawah standar 85%. Keterbatasan availability dan waktu idle yang tinggi pada segmen ROM–Jetty dapat menyebabkan nilai OEE yang rendah.

2. Kesesuaian dengan Hasil Penelitian Sebelumnya

Hasil simulasi mendukung penelitian oleh Islam et al. (2020) dan Wang et al. (2021), yang menyatakan bahwa gradien jalan, waktu tempuh, dan antrean sangat memengaruhi konsumsi energi dump truck. Waktu perjalanan yang panjang berkontribusi terhadap kenaikan biaya operasional dan konsumsi BBM, bahkan saat rasio muatan tetap.

Implikasi Hasil terhadap Operasional dan Energi

Hasil estimasi ini menunjukkan bahwa strategi pengelolaan hauling perlu mempertimbangkan segmentasi rute, alokasi unit berdasarkan waktu tempuh, serta potensi redesign jalur hauling untuk menekan waktu idle dan BBM/ton. Secara teoritis, model evaluatif yang dikembangkan dalam penelitian ini juga dapat diadaptasi untuk sistem hauling tambang lain dengan penyesuaian variabel lokal, seperti kondisi jalan, jenis dump truck, dan metode loading.

KESIMPULAN DAN SARAN

Penelitian ini menyimpulkan bahwa pendekatan evaluatif terhadap sistem hauling batubara dengan mengintegrasikan indikator Overall Equipment Effectiveness (OEE), waktu siklus, dan konsumsi bahan bakar mampu memberikan gambaran awal yang representatif terhadap efisiensi energi dan performa operasional. Hasil estimasi menunjukkan bahwa segmen hauling PIT–ROM memiliki produktivitas harian yang lebih tinggi dibandingkan ROM–Jetty meskipun keduanya memiliki konsumsi BBM per ton yang serupa. Waktu siklus yang lebih panjang pada ROM–Jetty berpotensi menurunkan efisiensi ritase dan meningkatkan waktu idle. Berdasarkan temuan tersebut, disarankan agar penelitian lanjutan dilakukan dengan menggunakan data aktual dari sistem operasi PT EBS untuk memvalidasi model estimasi dan simulasi yang telah dirancang. Penelitian ini masih memiliki keterbatasan pada sisi penggunaan data sekunder dan skenario estimasi, sehingga generalisasi hasil perlu dilakukan dengan hati-hati. Penambahan variabel lingkungan, seperti gradien jalan, rolling resistance, serta kecepatan aktual unit dalam berbagai kondisi operasional, sangat dianjurkan pada penelitian berikutnya guna meningkatkan ketepatan analisis dan memberikan rekomendasi yang lebih aplikatif bagi manajemen tambang dalam meningkatkan efisiensi energi dan produktivitas hauling secara berkelanjutan.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis menyampaikan terima kasih kepada Departemen *Hauling dan Road Maintenance* PT EBS atas dukungan data, informasi teknis, dan izin estimasi operasional yang menjadi dasar dalam penyusunan artikel ini. Artikel ini merupakan bagian dari

rancangan tesis Program Studi Magister Teknik Mesin yang sedang penulis susun di Universitas Gunadarma. Penulis juga berterima kasih kepada dosen pembimbing Pak Tri Mulyanto dan Pak Supriyono atas masukan dan diskusi yang konstruktif selama proses penulisan berlangsung.

DAFTAR REFERENSI

- Afriyanti, D., Syahril, A., & Hamdani, H. (2019). Evaluasi efektivitas alat berat menggunakan metode OEE pada kegiatan hauling batubara. *Jurnal Teknologi Mineral dan Batubara*, 15(1), 15–23. <https://doi.org/10.30556/jtmb.vol15.no1.2019.282>
- Bourgeois, F., Bertrand, N., & Nguyen, Q. (2019). A hybrid simulation approach to evaluate mining truck productivity and energy consumption. *Simulation Modelling Practice and Theory*, 95, 106930. <https://doi.org/10.1016/j.simpat.2019.102006>
- Dwiyanto, S., Rizaldi, A., & Kusuma, T. (2022). Penerapan metode Overall Equipment Effectiveness (OEE) untuk meningkatkan produktivitas alat berat tambang. *Jurnal Teknik Industri*, 23(2), 145–156. <https://doi.org/10.9744/jti.23.2.145-156>
- Gonzalez-Aleu, F., Van Aken, E. M., & Garza-Reyes, J. A. (2018). Overall equipment effectiveness (OEE) applications in manufacturing systems: A systematic literature review. *International Journal of Production Research*, 56(21), 6758–6786. <https://doi.org/10.1080/00207543.2018.1444806>
- Islam, M. T., Nur, R. A., & Sarwar, S. M. (2020). Fuel consumption modeling in large off-road trucks: A case study from mining industry. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 88, 102563. <https://doi.org/10.1016/j.trd.2020.102563>
- Munawar, A., Siregar, R., & Sihotang, D. (2020). Pengaruh geometri jalan tambang terhadap produktivitas dump truck: Studi kasus tambang batubara. *Jurnal Rekayasa Pertambangan*, 21(2), 77–85. <https://doi.org/10.25077/jrp.21.2.77-85.2020>
- Murthy, Y. R., & Suraj, P. (2017). Cycle time analysis for haul trucks. *Mining Engineering Journal*, 29(4), 32–39.

- Nakajima, S. (1988). *Introduction to TPM: Total productive maintenance*. Productivity Press.
- Prasad, S., Tiwari, R. K., & Singh, A. (2019). Application of OEE to mining equipment: A case study. *Journal of Mining and Environment*, 10(1), 35–42. <https://doi.org/10.22044/jme.2019.7601.1625>
- Ramli, A., & Setiawan, F. (2021). Analisis efisiensi operasional sistem hauling batubara di PT XYZ. *Jurnal Teknik Pertambangan*, 18(2), 45–54. <https://doi.org/10.9744/jtp.18.2.45-54>
- Rizaldi, A., & Simanjuntak, M. (2020). Monitoring kinerja alat berat menggunakan metode OEE dan cycle time. *Jurnal Teknologi dan Rekayasa*, 14(2), 98–106. <https://doi.org/10.25077/jtr.14.2.98-106.2020>
- Sihombing, E. D., & Hutagalung, R. (2022). Evaluasi konsumsi bahan bakar dump truck berdasarkan beban angkut dan kondisi jalan. *Jurnal Teknologi Energi*, 12(1), 55–64. <https://doi.org/10.30588/jte.12.1.55-64.2022>
- Sukardi, D., & Yulianto, F. (2021). Simulasi pengaruh kecepatan dan gradien terhadap konsumsi BBM truk tambang. *Jurnal Energi dan Transportasi Tambang*, 9(3), 33–40.
- Suryana, H., & Amalia, S. (2020). Implementasi pemantauan waktu siklus menggunakan GPS tracking pada unit hauling. *Prosiding Seminar Nasional Teknik Mesin*, 2020, 84–89.
- Wang, Y., Li, Y., & Li, H. (2021). Rolling resistance and fuel consumption evaluation in mining trucks. *Energy Reports*, 7, 1420–1429. <https://doi.org/10.1016/j.egyr.2021.01.021>
- Wijaya, R., & Alamsyah, R. (2022). Analisis perbandingan efisiensi BBM pada dua jenis dump truck tambang batubara. *Jurnal Teknologi Mineral*, 23(1), 77–85.
- Yudha, M. I., & Prasetyo, T. B. (2020). Evaluasi produktivitas sistem hauling batubara dengan metode OEE dan cycle time. *Jurnal Ilmiah Teknik Mesin*, 8(2), 65–74.
- Yuliani, R., & Haris, M. (2019). Fuel efficiency modeling in surface mining operation. *International Journal of Mining and Mineral Engineering*, 10(3), 211–223.
- Zhang, Y., Wang, J., & Li, Q. (2020). Fuel efficiency analysis of off-highway trucks in mining. *International Journal of Mining Science and Technology*, 30(4), 521–530. <https://doi.org/10.1016/j.ijmst.2020.03.005>