

Pengaruh Elevasi Jalan Tambang Terhadap *Tractive Effort* Dan Konsumsi BBM Truk 8×4 Pada Pengangkutan Batu Bara di Kalimantan Selatan Dan Timur

Yogi Bagus Utomo^{1,*}, Eko Yohanes^{1*}, Adhy Ariyanto¹

¹ Program Studi Teknik Mesin S1 Institut Teknologi Nasional Malang

Kata kunci

Tractive Effort, Konsumsi Bahan Bakar, Jalan Tambang, Elevasi, Truk 8×4, Kalimantan.

ABSTRAK

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh variasi elevasi jalan tambang terhadap kebutuhan *tractive effort* dan konsumsi bahan bakar pada truk tambang tipe 8×4 dalam kegiatan pengangkutan batu bara di Kalimantan Timur dan Kalimantan Selatan. Metode yang digunakan adalah pendekatan kuantitatif dengan kombinasi perhitungan analitik dan data aktual dari sistem telematika kendaraan. Data yang dikumpulkan meliputi gradien tanjakan, RPM mesin, konsumsi bahan bakar, serta spesifikasi teknis kendaraan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa semakin tinggi gradien jalan, maka semakin besar gaya tanjak (*grade resistance*) yang harus dilawan kendaraan, sehingga menyebabkan peningkatan *tractive effort* dan konsumsi bahan bakar. Pada gradien 15% gaya tanjak mencapai 72.754 N, sedangkan pada gradien 28% meningkat menjadi 132.234 N. Konsumsi bahan bakar truk juga lebih tinggi di wilayah Kalimantan Selatan yang memiliki kontur lebih ekstrem dibandingkan Kalimantan Timur. Temuan ini menegaskan pentingnya desain rute haul road yang efisien dan strategi operasional yang adaptif berdasarkan karakteristik medan.

* **Corresponding author:**

Yogi Bagus Utomo (email: 2111087@scholar.itn.ac.id)

Diterima: 27 November 2025

Disetujui: 5 Februari 2026

Dipublikasikan: 31 Maret 2026

1 Pendahuluan

Indonesia merupakan salah satu negara dengan cadangan dan produksi batu bara terbesar di dunia. Kalimantan Timur dan Kalimantan Selatan tercatat sebagai pusat produksi utama yang menyumbang lebih dari 55% produksi nasional [1]. Aktivitas pengangkutan batu bara di kedua wilayah ini sangat bergantung pada jalan tambang (*haul road*) dengan kontur elevasi bervariasi, mulai dari tanjakan sedang ($\pm 15\%$) hingga ekstrem ($\pm 28\%$). Kondisi tersebut menimbulkan tantangan teknis, terutama terkait kebutuhan gaya tarik kendaraan (*tractive effort*) dan konsumsi bahan bakar.

Topografi yang curam meningkatkan gaya tanjak (*grade resistance*) yang harus dilawan kendaraan, sehingga berdampak pada peningkatan beban mesin dan konsumsi energi. Adhitya et al. [2] melaporkan bahwa kenaikan gradien jalan hingga 20–30% dapat meningkatkan konsumsi bahan bakar sebesar 15–25% pada truk tambang. Temuan ini sejalan dengan penelitian Saptarini et al. [3] yang menunjukkan bahwa setiap kenaikan 5% gradien menambah konsumsi bahan bakar rata-rata 0,2 L/km.

Truk tambang tipe 8×4 merupakan unit yang paling umum digunakan pada operasi hauling di Kalimantan karena kapasitas angkut besar, stabilitas distribusi beban, dan ketersediaan data teknis melalui sistem fleet management [4]. Namun, pada medan dengan elevasi ekstrem, efisiensi bahan bakar dan kinerja truk menurun drastis. Kondisi tersebut memperkuat urgensi kajian sistematis mengenai keterkaitan antara elevasi jalan, *tractive effort*, dan konsumsi bahan bakar.

Berdasarkan hal tersebut, penelitian ini bertujuan untuk menganalisis secara kuantitatif pengaruh variasi elevasi jalan tambang terhadap *tractive effort* dan konsumsi bahan bakar truk 8×4 di Kalimantan Timur dan Kalimantan Selatan. Hasil kajian diharapkan dapat memberikan masukan teknis dalam perencanaan rute hauling

yang lebih efisien, mengurangi biaya operasional, serta mendukung kebijakan efisiensi energi pada industri pertambangan.

2 Metode Penelitian

Penelitian ini menggunakan pendekatan kuantitatif dengan memadukan perhitungan analitik dan data aktual dari sistem telematika kendaraan. Lokasi penelitian dilakukan pada jalur hauling sepanjang ± 40 km yang berada di Kalimantan Timur dan Kalimantan Selatan. Jalur di Kalimantan Timur memiliki gradien jalan maksimum 15%, sedangkan di Kalimantan Selatan gradien mencapai 28%, sehingga mewakili perbedaan kondisi medan yang signifikan. Objek penelitian adalah dua unit truk tambang tipe 8×4 dengan Gross Combination Weight (GCW) 50.000 kg. Truk tipe ini dipilih karena merupakan unit yang paling banyak digunakan dalam operasi hauling batu bara, memiliki kapasitas angkut besar, serta data teknisnya mudah diperoleh melalui sistem fleet management.

Alat utama yang digunakan adalah sistem fleet management yang terintegrasi dengan GPS dan sensor konsumsi bahan bakar, yang mampu merekam data operasional kendaraan secara real-time. Data yang dikumpulkan meliputi gradien jalan, kecepatan kendaraan, putaran mesin (RPM), serta konsumsi bahan bakar aktual. Bahan utama penelitian adalah kendaraan truk tambang tipe 8×4 yang diuji pada rute dengan variasi elevasi.



Gambar 1 Truk tambang tipe 8×4 yang digunakan dalam penelitian.

Prosedur penelitian dilakukan dengan beberapa tahap. Pertama, dilakukan studi literatur untuk memahami teori tractive effort, konsumsi bahan bakar, dan pengaruh kontur jalan tambang terhadap performa kendaraan. Selanjutnya ditentukan variabel penelitian yang terdiri dari rolling resistance (RR), grade resistance (GR), acceleration demand (AD), putaran mesin (RPM), dan konsumsi bahan bakar. Data aktual kemudian dikumpulkan dari sistem fleet management pada jalur penelitian yang ditentukan. Tahap berikutnya adalah perhitungan analitik untuk menentukan nilai tractive effort berdasarkan kondisi jalan dan beban kendaraan.

Tractive effort dihitung sebagai jumlah dari tiga komponen utama, yaitu rolling resistance, grade resistance, dan acceleration demand, dengan persamaan:

$$TE = RR + GR + AD \quad (1)$$

dengan TE adalah tractive effort total (N), RR rolling resistance (N), GR grade resistance (N), dan AD acceleration demand (N). Grade resistance sendiri dihitung dengan persamaan:

$$GR = W \times \sin(\theta) \approx W \times \frac{\text{Grade}(\%)}{100} \quad (2)$$

$$GR = W \times \sin(\theta) \approx W \times \frac{\text{Grade}(\%)}{100} \quad (2)$$

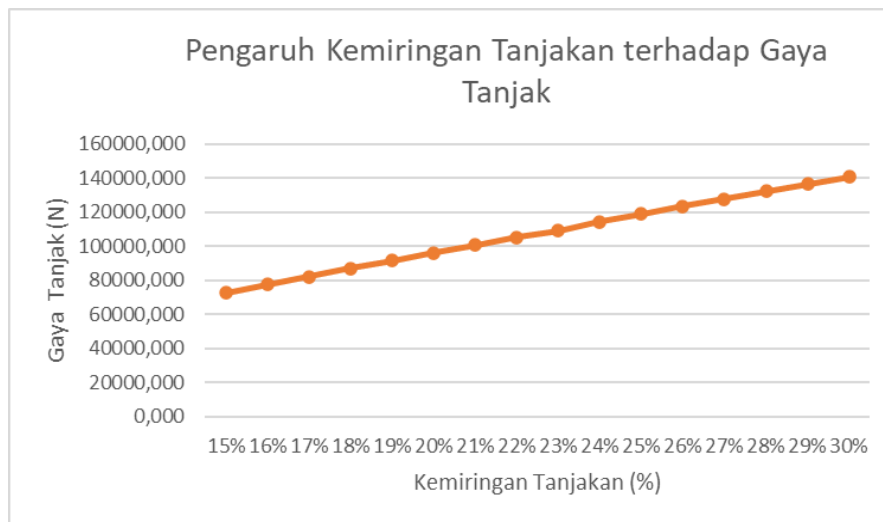
dimana W adalah berat total kendaraan (N) dan θ merupakan sudut kemiringan jalan. Rolling resistance ditentukan berdasarkan kondisi jalan, tekanan ban, serta bobot kendaraan, sedangkan acceleration demand diperhitungkan ketika kendaraan mengalami percepatan, terutama pada saat menanjak.

Teknik analisis dilakukan dengan membandingkan hasil perhitungan analitik dengan data aktual dari telematika kendaraan untuk memvalidasi keakuratan model. Analisis regresi linier digunakan untuk mengevaluasi hubungan antara gradien jalan, nilai tractive effort, putaran mesin, dan konsumsi bahan bakar. Hasil penelitian kemudian divisualisasikan dalam bentuk tabel dan grafik, sehingga tren perubahan konsumsi energi dan performa kendaraan pada berbagai kondisi elevasi dapat terlihat secara jelas.

3 Hasil dan Pembahasan

3.1 *Tractive Effort* Pada Variasi Elevasi

Hasil analisis menunjukkan bahwa variasi elevasi jalan tambang berpengaruh signifikan terhadap nilai tractive effort. Pada gradien 15% yang ditemui di Kalimantan Timur, gaya tanjak (grade resistance) tercatat sebesar 72.754 N. Nilai ini meningkat hingga 132.234 N pada gradien 28% di Kalimantan Selatan. Peningkatan grade resistance berbanding lurus dengan besarnya tractive effort total yang harus dihasilkan kendaraan.

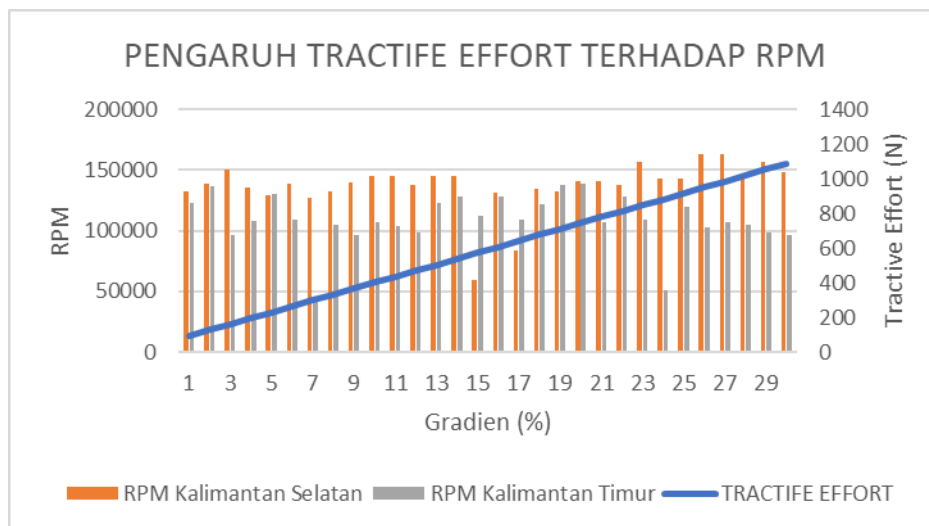


Gambar 2 Hubungan Gradien Terhadap Grade Resistance.

Temuan ini menunjukkan bahwa semakin curam gradien jalan, semakin tinggi gaya traksi yang dibutuhkan. Kondisi tersebut sesuai dengan teori grade resistance yang dinyatakan dalam persamaan (2), di mana kenaikan gradien berbanding lurus dengan gaya tanjak yang harus dilawan oleh kendaraan [2].

3.2 Hubungan *Tractive Effort* Terhadap RPM

Data telematika menunjukkan hubungan yang jelas antara nilai tractive effort dan putaran mesin (RPM). Ketika nilai tractive effort meningkat akibat gradien jalan yang curam, mesin dipaksa beroperasi pada RPM tinggi untuk menghasilkan torsi yang lebih besar. Hal ini menyebabkan peningkatan konsumsi bahan bakar, karena mesin bekerja di luar zona efisiensi optimal..

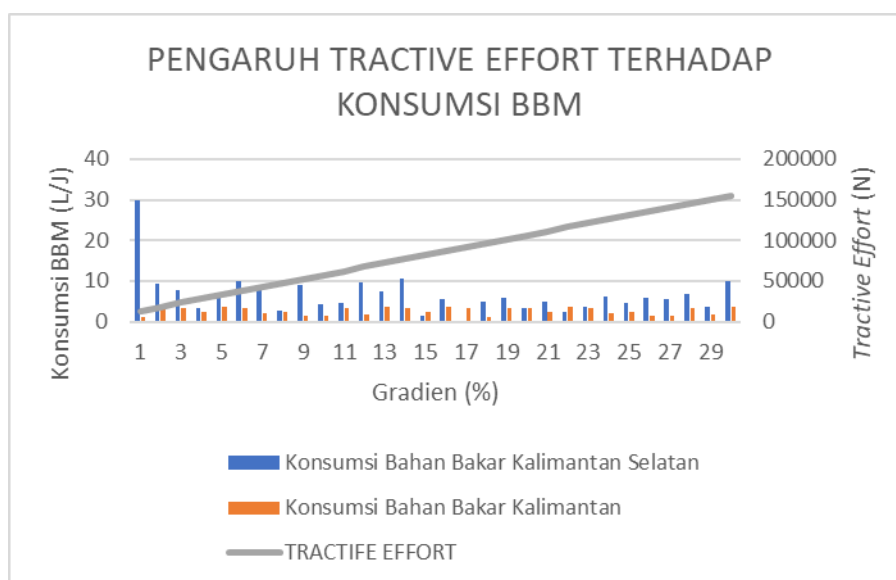


Gambar 3 Pengaruh Tractive Effort Terhadap RPM.

Hasil ini konsisten dengan penelitian Kim et al. [4] yang menyatakan bahwa hubungan antara beban mesin dan konsumsi energi bersifat non-linear, terutama pada kendaraan berat yang beroperasi di medan berbukit .

3.3 Dampak Elevasi Terhadap Konsumsi Bahan Bakar

Peningkatan gradien jalan juga berdampak langsung pada konsumsi bahan bakar. Data lapangan menunjukkan bahwa konsumsi BBM truk 8×4 di Kalimantan Selatan lebih tinggi dibandingkan dengan Kalimantan Timur. Perbedaan ini disebabkan oleh profil elevasi yang lebih ekstrem di Kalimantan Selatan, sehingga truk memerlukan energi lebih besar untuk mempertahankan pergerakan.



Gambar 4 Tractive Effort Terhadap Konsumsi Bahan Bakar

Temuan ini sejalan dengan studi Saptarini et al. [3], yang melaporkan bahwa setiap kenaikan gradien jalan sebesar 5% dapat menambah konsumsi BBM sekitar 0,2 L/km. Dengan demikian, desain rute hauling yang memperhatikan kondisi elevasi merupakan faktor penting dalam mengurangi biaya operasional.

3.4 Perbandingan Kinerja Operasional Kalimantan Timur Dan Selatan

Perlakuan Perbandingan antara Kalimantan Timur dan Kalimantan Selatan dirangkum pada Tabel 1. Jalur dengan gradien lebih curam (Kalimantan Selatan) menghasilkan *tractive effort* lebih tinggi dan konsumsi bahan bakar lebih boros dibandingkan Kalimantan Timur.

Tabel 1 Perbandingan Tractive Effort dan Konsumsi Bahan Bakar truk 8×4.

Lokasi	Gradien (%)	Grade Resistance (N)	Tractive Effort (N)	Konsumsi BBM (L/km)
Kalimantan Timur	15	72.754	Lebih rendah	Lebih efisien
Kalimantan Selatan	28	132.234	Lebih tinggi	Lebih boros

Hasil ini memperlihatkan bahwa kontur jalan tambang memegang peran dominan dalam menentukan efisiensi transportasi. Dengan mengoptimalkan jalur hauling dan menerapkan strategi operasional adaptif, seperti pemilihan gigi transmisi yang sesuai serta pengaturan kecepatan optimal, konsumsi bahan bakar dapat ditekan. Hal ini sejalan dengan pernyataan Adhitya et al. [2] bahwa geometri jalan merupakan salah satu faktor kunci dalam efisiensi logistik pertambangan awal.

3.5 Dampak Elevasi Terhadap Konsumsi Bahan Bakar

Hasil penelitian menunjukkan bahwa peningkatan gradien jalan tambang berbanding lurus dengan kenaikan nilai *tractive effort*. Pada gradien 15% di Kalimantan Timur, nilai *grade resistance* tercatat sebesar 72.754 N, sedangkan pada gradien 28% di Kalimantan Selatan mencapai 132.234 N. Perbedaan ini memperlihatkan bahwa jalan dengan elevasi lebih curam menimbulkan beban traksi yang jauh lebih besar pada kendaraan, sehingga memerlukan tenaga mesin lebih tinggi untuk mempertahankan kecepatan. Kondisi ini sejalan dengan teori traksi kendaraan yang menyatakan bahwa gaya tanjak meningkat proporsional terhadap gradien jalan [2].

Hubungan antara *tractive effort* dan RPM mesin semakin menegaskan peran elevasi jalan terhadap performa kendaraan. Semakin besar nilai *tractive effort*, semakin tinggi pula RPM mesin yang dibutuhkan, sehingga konsumsi bahan bakar meningkat. Hal ini sejalan dengan temuan Kim et al. [4] bahwa konsumsi energi pada kendaraan berat cenderung meningkat secara eksponensial ketika mesin beroperasi pada beban tinggi di luar zona efisiensi optimal. Perbandingan data antara Kalimantan Timur dan Kalimantan Selatan membuktikan bahwa truk di jalur dengan gradien lebih curam tidak hanya mengonsumsi bahan bakar lebih besar, tetapi juga mengalami penurunan efisiensi operasional secara signifikan.

Hasil penelitian ini menegaskan pentingnya perencanaan rute hauling yang memperhatikan profil elevasi jalan. Jalur dengan gradien landai terbukti mampu menekan kebutuhan gaya traksi dan konsumsi bahan bakar. Selain itu, strategi operasional adaptif seperti pemilihan gigi transmisi yang tepat, pengaturan kecepatan optimal, dan pemanfaatan *fleet management system* dapat menjadi solusi untuk meningkatkan efisiensi. Hal ini sejalan dengan Adhitya et al. [2] yang menyatakan bahwa desain geometri jalan merupakan faktor krusial dalam optimasi logistik tambang. Dengan demikian, kontur jalan tambang bukan hanya aspek teknis, tetapi juga berimplikasi langsung terhadap efisiensi energi, biaya operasional, dan keberlanjutan industri pertambangan.

4 Kesimpulan

Melalui Penelitian ini menunjukkan bahwa peningkatan gradien jalan tambang berpengaruh signifikan terhadap tractive effort dan konsumsi bahan bakar truk tambang tipe 8×4. Pada gradien 15% (Kalimantan Timur), grade resistance tercatat sebesar 72.754 N, sedangkan pada gradien 28% (Kalimantan Selatan) meningkat menjadi 132.234 N. Kenaikan gaya tanjak tersebut memaksa mesin bekerja pada RPM lebih tinggi sehingga konsumsi bahan bakar meningkat.

Secara praktis, hasil penelitian menegaskan bahwa perencanaan rute hauling dengan gradien lebih landai serta penerapan strategi operasional adaptif mampu menekan kebutuhan tractive effort, menghemat konsumsi energi, dan menurunkan biaya operasional. Temuan ini dapat menjadi dasar pengambilan keputusan teknis untuk meningkatkan efisiensi dan keberlanjutan operasional pertambangan.

5 Referensi

- [1] A. Hardian, “Produksi dan Distribusi Batu Bara Nasional,” *Jurnal Energi Indonesia*, vol. 9, no. 2, pp. 45–52, 2021..
- [2] R. Adhitya, T. Muliardi, and F. Gusman, “Model Dinamika Kendaraan untuk Prediksi Konsumsi Energi Truk Tambang,” *Jurnal Mekanika Terapan*, vol. 12, no. 1, pp. 33–41, 2025.
- [3] I. Saptarini, H. Prayogo, and A. Rachman, “Pengaruh Medan Menanjak terhadap Konsumsi BBM Dump Truck di Kalimantan Selatan,” *Jurnal Teknologi Pertambangan*, vol. 7, no. 2, pp. 77–86, 2024.
- [4] H. Kim, Y. Choi, and K. Lee, “Predictive Model of Fuel Consumption for Heavy-Duty Trucks Based on Road Gradient and Load Condition,” *International Journal of Automotive Technology*, vol. 21, no. 5, pp. 1035–1046, 2020.