Efisiensi konsumsi bahan bakar berdasarkan kemiringan jalan angkut overburden: studi kasus PT Bhumi Sriwijaya Perdana Coal

Fuel consumption efficiency based on overburden haul road slope: PT Bhumi Sriwijaya Perdana Coal case study

Evid Tribuana[1], Yosa Megasukma[2]*, Ericson[3], Bagus Adhitya[4]
[1-3]Program Studi Teknik Pertambangan, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Jambi
[4]Program Studi Teknik Geologi, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Jambi
e-mail: [1]evidtribuana@gmail.com, *[2]**yosamegasukma@unja.ac.id**, [3]ericson@unja.ac.id, [4]bagusadhitya@unja.ac.id

ABSTRAK

PT Bhumi Sriwijaya Perdana Coal (BSPC) adalah perusahaan pertambangan yang mana dalam pengangkutan overburden menggunakan metode *trucking* dengan biaya pengangkutan mencapai 40% dari total biaya penambangan. Rerata konsumsi bahan bakar alat angkut pada bulan Januari hingga April 2023 melebihi standar perusahaan yakni 14,28 l/jam dari perencanaan yaitu 13,5 l/jam. Berdasarkan pendekatan regresi linier, faktor yang kuat mempengaruhi konsumsi bahan bahan bakar dalam studi ini adalah kemiringan jalan dengan nilai koefisien determinasi sebesar 0,99. Selama pengamatan pada bulan Mei 2023, terdapat 4 ruang jalan yang menyebabkan tingkat konsumsi bahan bakar lebih dari rencana sehingga menghasilkan rerata 13,7 l/jam. Simulasi perubahan kemiringan jalan yang melebihi 8% dilakukan sehingga diperoleh prediksi konsumsi bahan bahan bakar menjadi 13,28 l/jam. Perbaikan kemiringan jalan akan menghemat sebesar 0,4 l/jam (120 l/bulan) penggunaan bahan bakar unit dump truck.

Kata-kata kunci: bahan bakar, kemiringan, regresi linier, truck

ABSTRACT

PT Bhumi Sriwijaya Perdana Coal (BSPC) is a mining company that uses the trucking method to transport overburden with hauling costs reaching 40% of the total mining costs. The average fuel consumption of hauling equipment from January to April 2023 exceeded the company's standard of 14.28 l/hour from the planning of 13.5 l/hour. Based on the linear regression approach, the strongest factor influencing fuel consumption in this study was the road slope with a coefficient of determination of 0.99. During observations in May 2023, there were 4 road spaces that caused the fuel consumption rate to exceed the plan, resulting in an average of 13.7 l/hour. Simulation of changes in road slope exceeding 8% was carried out so that the predicted fuel consumption was 13.28 l/hour. Improving the road slope will save 0.4 l/hour (120 l/month) of dump truck fuel usage.

***Keywords**: fuel, linear regression, slope, truk*

PENDAHULUAN

PT Bhumi Sriwijaya Perdana Coal (PT BSPC) adalah perusahaan yang bergerak dalam sektor pertambangan batubara bertempat di Kabupaten Musi Banyuasin, Sumatera Selatan. PT BSPC menggunakan alat angkut Mitsubishi Fuso 220P di tambang untuk proses pengangkutan di dalam tambang. Jalan angkut merupapakan faktor penting yang dapat mendukung kelancaran aktivitas pemindahan material. Dengan perancangan jalan angkut yang baik memberikan keberhasilan produktivitas pengangkutan yang tinggi walaupun biaya pengangkutan dapat mencapai 40 bahkan lebih dari jumlah biaya penambangan [1].

Penggunaan peralatan mekanis tidak lepas dari konsumsi bahan bakar. Konsumsi bahan bakar pada bulan Januari hingga April 2023 rata-rata sebesar 14,2 l/jam. Sedangkan pada bulan Mei konsumsi bahan bakar untuk pengangkutan adalah sebesar 13,7 l/jam. Nilai tersebut melebihi nilai dari target yang direncanakan perusahaan untuk konsumsi bahan bakar yaitu sebesar 13,5 l/jam. Salah satu faktor yang mempengaruhi konsumsi bahan bakar adalah kemiringan jalan (*grade*). Grade atau kemiringan jalan pada kegiatan pemindahaan material dalam penambangan tidak dapat terhindarkan, dengan pertimbangan mengikuti kontur topografi alami serta bentuk pit penambangan yang dilakukan pemindahan dari elevasi di bawah permukaan tanah sebelumnya [2]. Berdasarkan standar AASHTO (1993), kemiringan jalan maksimum untuk alat angkut adalah 8 % atau 4,5° [3]. Namun kenyataannya di lapangan masih terdapat 4 bagian ruas jalan yang melebihi standar dengan kemiringan tertinggi sebesar 12,52 %. Kemampuan alat angkut dalam mengatasi tanjakan maupun dalam melakukan pengereman pada kemiringan jalan angkut tambang akan berbeda-beda tergantung pada jenis alat itu sendiri yang bisa mempengaruhi besaran tingkatan konsumsi bahan bakar [4]. Kondisi jalan dengan tingkat kemiringan yang lebih tinggi akan memerlukan lebih banyak bahan bakar karena energi yang dibutuhkan untuk memindahkan peralatan tersebut lebih besar dan kondisi tersebut tidak aman untuk alat angkut bermuatan berat yang beresiko kecelakaan kerja. sedangkan jalan dengan kemiringan yang lebih rendah membutuhkan daya yang lebih kecil sehingga jumlah bahan bakar yang digunakan cenderung lebih sedikit dan kondisi tersebut lebih aman untuk alat angkut.

Berdasarkan uraian di atas, maka perlu dilakukan suatu analisis untuk mengetahui pengaruh kemiringan jalan angkut (variabel dependen) terhadap konsumsi bahan bakar (variabel independen). Penelitian ini menggunakan metode regresi linier sederhana. Hasil yang diharapkan dari penelitian ini adalah untuk memperoleh gambaran hubungan antara variabel dependen dan variabel independen dalam suatu grafik linier yang akan bisa

digunakan sebagai prediksi untuk estimasi pengurangan konsumsi bahan bakar pada alat angkut pengangkutan overburden dari pit ke disposal area kepada perusahaan berdasarkan simulasi yang dilakukan pada kondisi jalan angkut yang dihasilkan dari penelitian ini.

METODOLOGI

Metodologi yang dilakukan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Studi Literatur
   Pada saat studi literatur dilakukan pengumpulan informasi-informasi serta teori dari banyak sumber yang valid seperti buku, artikel ilmiah dan jurnal yang berkaitan dengan topik permasalahan pada penelitian.
2. Pengamatan Lapangan
   Pengamatan lapangan dilakukan untuk menemukan permasalahan dan solusi yang tepat sehingga mampu diterapkan sesuai dengan kondisi aktual lapangan.
3. Pengumpulan Data
   Data yang diambil dilapangan merupakan data primer dan data sekunder pada pit Charlie PT Bhumi Sriwijaya Perdana Coal.
   a. Data primer: data *cycle time,* topografi, ruas jalan jalan angkut dan *rolling resistance.*
   b. Data sekunder: konsumsi bahan bakar setiap unit.
4. Pengolahan dan Analisis Data
   Dilakukan pengolahan dan juga analisis pada data yang diambil untuk mendapatkan pengaruh *grade* jalan terhadap *fuel consumption*. Pada tahap ini ditentukan batas ruas jalan angkut yang akan dianalisis. Dari setiap kelompok data jalan angkut tersebut didapatkan suatu analisis pengaruh geometri jalan secara alinyemen vertikal yaitu *grade* (kemiringan) jalan dengan penggunaan bahan bakar dalam kegiatan pemindahan tanah penutup. Untuk menentukan karakteristik jalan angkut maka dibuat dengan beberapa ruas jalan sehingga didapat masing-masing karakteristik disetiap ruas jalan. Penentuan karakteristik setiap ruas jalan tersebut ditinjau dari kondisi *grade* jalan.
5. Pengambilan Kesimpulan dan Saran
   Kesimpulan serta saran yang timbul merupakan hasil dari tahap-tahap yang dilakukan pada penelitian ini untuk penyempurnaan solusi yang tepat sehingga masalah yang terjadi dilapangan dapat diselesaikan.

Kemiringan Jalan

[5] Persamaan yang digunakan untuk menghitung kemiringan jalan (*grade*) dapat dilihat pada persamaan (1).

$$Grade = \frac{\Delta h}{\Delta x} \times 100\% \quad (1)$$

Dimana Δh merupakan beda tinggi antara dua titik yang diukur (dalam meter) dan Δx merupakan jarak datar antara dua titik yang diukur (dalam meter).

Sedangkan dalam bentuk derajat, kemiringan jalan dapat dihitung dengan persamaan (2) dan (3).

$$sin\ \alpha = \frac{AC}{BC} \quad (2)$$

$$\alpha = sin^{-1} \frac{AC}{BC} \quad (3)$$

Dimana, AC merupakan beda tinggi elevasi antara dua titik (dalam meter) dan BC merupakan jarak mendatar antara dua titik (dalam meter).

Tahanan Gulir

Tahanan gulir yang besar akan menimbulkan gaya yang dibutuhkan untuk menarik kendaraan di atas permukaan tanah yang semakin besar pula. Dalam hal ini tenaga yang dibutuhkan akan lebih banyak sehingga pembakaran bahan bakar meningkat. Faktor yang mempengaruhi nilai tahanan gulir adalah banyaknya muatan dalam satuan berat dan kondisi permukaan jalan angkut. [6] Nilai tahanan gulir berdasarkan kondisi permukaan jalan angkut dapat dilihat pada tabel-1.

Tabel-1. Nilai *Rolling Resistance* (dalam %)

Kondisi Permukaan Jalan	Koefisien
Jalan terpelihara, ban tidak terbenam	2
Jalan terpelihara, ban terbenam	3
Ban terbenam, sedikit basah	5
Keadaan jalan jelek	8
Jalan berpasir gembur, keadaan jalan jelek	10
Keadaan jalan sangat jelek	15-20

Tahanan *Aerodinamis* (*Aerodinamis Resistance*)

[7] Hambatan udara adalah salah satu gaya yang dialami kendaraan pada saat bergerak atau melaju. Semakin besar hambatan udara maka kecepatan atau percepatan akan semakin kecil dan sebaliknya. Kecepatan dan percepatan berpengaruh terhadap besar kecilnya pemakaian bahan bakar.

$$a = {}^{1}/_{2} \times Cd \times \rho\mu \times AF \quad (4)$$

Persamaan yang digunakan untuk menghitung percepatan dapat dilihat pada persamaan (4), dimana a merupakam percepatan (dalam m/s), Cd merupakan koefisien hambatan aerodinamis, ρμ merupakan densitas udara (kg/m^3), dan AF merupakan luas penampang bagian depan alat angkut (dalam m^2).

Daya dan *Fuel Consumption* pada dump truck

[8] Persamaan untuk menghitung perkiraan pemakaian bahan bakar alat angkut dapat dilihat pada persamaan (5) dengan perhitung persentase daya ruas jalan terdapat pada persamaan (6).

$$Fuel\ Consumption = \%\ daya\ ruas\ jalan \times fuel\ consumption/jam \quad (5)$$

$$\%\ Daya\ ruas\ jalan = \frac{Daya\ ruas\ jalan}{Daya\ total} \times 100\% \quad (6)$$

Nilai daya atau tenaga yang dikeluarkan oleh setiap alat angkut di tiap ruas jalan jalan dapat dihitung menggunakan persamaan (7) dan (8).

$$Pa = Va \times (a \times Va^2) + (b \times Wa) \quad (7)$$

$$Pk = Vk \times (a \times Vk^2) + (c \times Wk) \quad (8)$$

Dimana, Pa merupakan tenaga yang diperlukan suatu alat angkut untuk memindahkan material tanah dari area pemuatan sampai ke area penimbunan (dalam kW) dan Pk merupakan tenaga yang diperlukan suatu alat angkut pada saat kembali dari area penimbunan kembali ke area

pemuatan (dalam kW). Komponen dalam persamaan antara lain Va merupakan kecepatan alat angkut bermuatan rata-rata dari area pemuatan sampai dengan area penimbunan (dalam m/s), Vk merupakan kecepatan alat angkut kosongan rata-rata dari area penimbunan sampai ke area pemuatan (dalam m/s), Wa merupakan berat alat angkut bermuatan (dalam kg), Wk merupakan berat alat angkut kosong (dalam kg), dan a, b, c merupakan konstanta.

Perhitungan nilai konstanta a dapat dilihat pada persamaan (4) dan konstanta b dan c dapat dilihat pada persamaan (9) dan (10).

$$b = \left(g \times \cos\theta \times (f + Crr)\right) + (g \times \sin\theta) \quad (9)$$

$$c = \left(g \times \cos\theta \times (f + Crr)\right) - (g \times \sin\theta) \quad (10)$$

Dimana, g merupakan percepatan gravitasi (dalam m/s^2), ɵ merupakan sudut kemiringan jalan (°), f merupakan koefisien gesekan ban dengan permukaan jalan, dan Crr merupakan koefisien tahanan gulir.

Tanda positif dan negatif pada konstanta b dan konstanta c akan bergantung pada kondisi kemiringan jalan tersebut yang dilalui oleh alat angkut yaitu menanjak atau menurun. Tanda positif digunakan untuk kemiringan jalan pada saat posisi alat angkut menanjak, selanjutnya tanda negatif dipakai untuk kemiringan jalan pada saat posisi alat angkut menurun.

Analisis Regresi

Analisis regresi yang digunakan adalah Analisis regresi sederhana, yaitu regresi yang didasarkan pada hubungan fungsional satu variabel independen dengan satu variabel dependen. Analisis tersebut terdiri dari satu variabel bebas. Variabel bebas merupakan variabel yang mempengaruhi dan variabel terikat merupakan variabel yang dipengaruhi. Persamaan umum regresi linear dapat dilihat pada persamaan (11).

$$Y = A + bX \quad (11)$$

Analisa regresi akan menghasilkan koefisien determinasi (R^2) yang mana koefisien tersebut dapat digunakan dalam pendekatan yang mengukur hubungan variabel dependen (Y) dengan semua variabel independent (X) yang menjelaskan secara bersama-sama dan nilainya selalu positif. Nilai R^2 untuk korelasi sangat kuat berada pada rentang 0,75 – 0,99, korelasi kuat berada pada rentang 0,5 – 0,75, korelasi cukup berada pada rentang 0,25 – 0,5, korelasi sangat lemah berada pada rentang 0 – 0,25, dan tidak ada korelasi memiliki nilai 0.

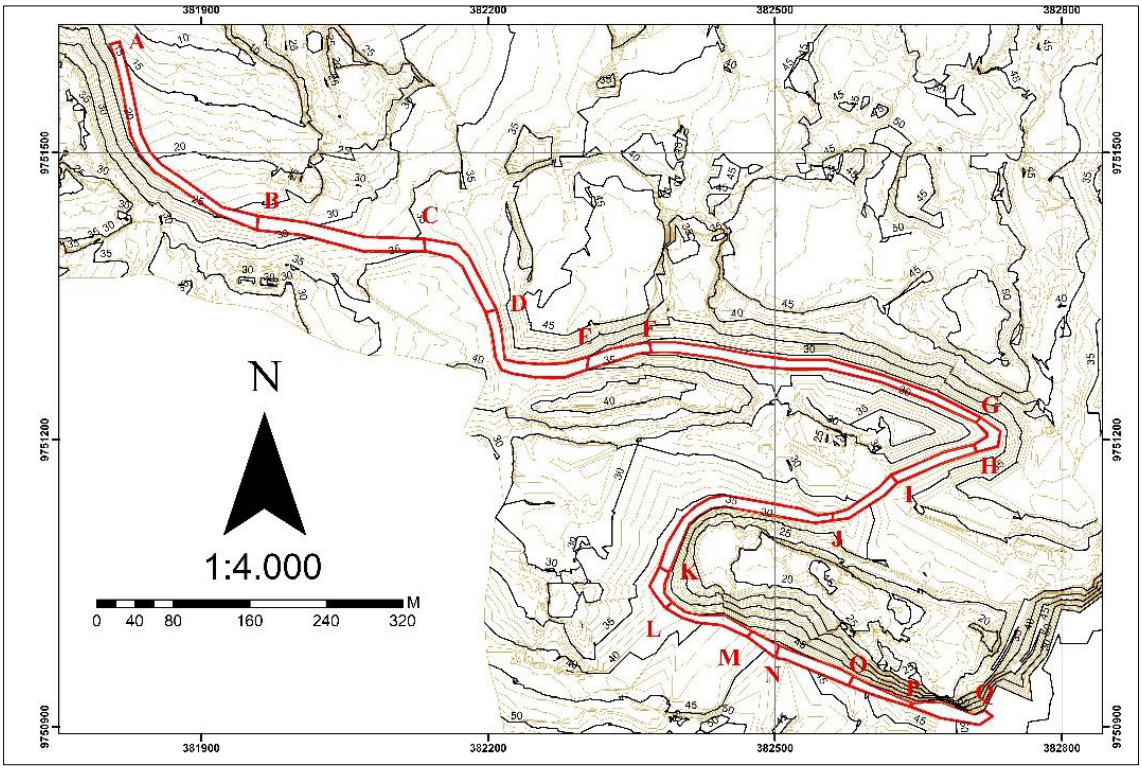
HASIL DAN DISKUSI

Kemiringan jalan

Berdasarkan hasil pengamatan dan perhitungan kemiringan jalan tambang pada bulan Mei 2024 dari titik pemuatan tanah penutup menuju lokasi penimbunan tanah penutup atau *dumping point* dan sebaliknya memiliki *grade* maksimal 12,52% dan minimal 0,28% dengan total jarak dari ruas jalan A sampai Q adalah ±1,8 km. Data kemiringan (*grade*) jalur angkut dari *loading point* menuju *disposal* Pit Kunci tiap ruas jalannya dapat dilihat pada Tabel-2**.**

Rolling Resistance

Kondisi jalan baik keadaan permukaan jalan maupun dan kemiringan jalan yang berbeda akan memberikan pengaruh yang berbeda penggunaan bahan bakar pada alat angkut tersebut. Asumsi yang digunakan pada penelitian ini adalah setiap jalur memiliki r*olling resistance* pada semua ruas jalan adalah sama yaitu 2% kerena memiliki karakteristik yang sama yaitu jalan terpelihara ban tidak terbenam atau tidak ada amblesan.



Gambar-1. *Lay Out* Ruas Jalan

Tabel-2. Perbedaan Elevasi Ruas jalan Jalan (*Grade* Jalan)

Ruas jalan	Beda Elevasi (mdpl)	Jarak (m)	*Grade (%)*
A-B	12.69	262.69	4.83
B-C	9.08	74.45	12.20
C-D	1.68	107.99	1.56
D-E	-2.13	144.98	-1.47
E-F	-6.20	68.72	-9.02
F-G	-1.00	354.00	-0.28
G-H	-0.83	50.99	-1.63
H-I	-0.43	90.00	-0.48
I-J	6.86	59.61	11.51
J-K	2.98	204.98	1.45
K-L	1.62	41.97	3.86
L-M	4.24	87.90	4.82
M-N	4.29	34.74	12.35
N-O	-3.33	81.93	-4.06
O-P	6.21	49.61	12.52
P-Q	1.19	82.99	1.43

Tabel-3. Kecepatan *Dump Truck* (dalam m/s)

Ruas jalan	Kecepatan Muatan	Kecepatan Kosongan
A-B	3.64	8.09
B-C	2.64	9.12
C-D	4.48	7.65
D-E	5.39	7.53
E-F	6.39	5.42
F-G	5.14	7.26
G-H	4.95	6.62
H-I	5.62	6.56
I-J	2.64	9.15
J-K	3.73	7.73
K-L	4.31	7.92
L-M	3.71	8.01
M-N	2.56	9.67
N-O	5.06	6.37
O-P	2.86	9.23
P-Q	4.59	7.73

Konsumsi Bahan Bakar

Perhitungan daya alat angkut pada setiap ruas jalan membutuhkan data kecepatan alat angkut yang dapat dilihat pada tabel-3. Selanjutnya Perhitungan daya yang dikeluarkan oleh *dump truck* pada ruas jalan B-C hingga ruas jalan P-Q dilakukan dengan perhitungan seperti pada contoh berikut:

Pa $= Va \times (a \times Va^2) + (b \times Wa)$
$= 23{,}64\ m/s \times ((2{,}4462\ kg/m \times (3{,}64\ m/s)^2) + (2{,}500\ m/s^2 \times 20.500\ kg)$
$= 50.644\ kg\ m^2/s^3$ atau 50.644 watt
$= 50.644$ watt/1000 = 50,64 kw

Pk $= Vk \times (a \times Vk^2) + (c \times Wk)$
$= 8{,}09\ m/s \times ((2{,}4462\ kg/m \times (8{,}09\ m/s)^2) + (1{,}555\ m/s^2 \times 12.500\ kg)$
$= 20.282\ kg\ m^2/s^3$ atau 20.282 watt
$= 20.282$ watt/ 1000 =20,282 kw

Adapun untuk nilai daya yang dibutuhkan dari alat angkut pada ruas jalan A-B hingga ruas jalan P-Q disajikan pada Tabel-4.

Jumlah konsumsi bahan bakar alat angkut untuk setiap ruas jalan didapatkan dengan mensimulasikan besaran daya yang dibutuhkan oleh alat angkut ketika memiliki muatan maupun ketika alat angkut dalam keadaan kosong ke dalam bentuk persen. Diasumsikan bahwa dalam 1 (satu) ritase untuk daya yang dibutuhkan oleh alat angkut adalah sebesar 100%. Setelah diketahui nilai persentase daya tersebut, selanjutnya nilai persentase tersebut dikalikan dengan konsumsi bahan bakar untuk 1 (satu) ritase [9].

- **Ruas jalan A-B (saat ada muatan)**

$$\%\ \text{Daya ruas jalan} = \frac{\text{Daya Ruas jalan}}{\text{Daya Total}} \times 100\%$$

$$\%\ \text{Daya ruas jalan} = \frac{50{,}64\ \text{kw}}{1104{,}89\ \text{kw}} \times 100\%$$

$$\%\ \text{Daya ruas jalan} = 0{,}05\%$$

Fuel Consumption = % Daya Ruas jalan × *Fuel consumption* Peritase
Fuel Consumption = 0,05% × 3,08 liter = 0,16 l/jam

- **Ruas jalan A-B (saat kosong)**

$$\%\ \text{Daya ruas jalan} = \frac{\text{Daya Ruas jalan}}{\text{Daya Total}} \times 100\%$$

$$\%\ \text{Daya ruas jalan} = \frac{20{,}28\ \text{kw}}{1104{,}89\ \text{kw}} \times 100\%$$

$$\%\ \text{Daya ruas jalan} = 0{,}02\%$$

Fuel Consumption = % Daya Ruas jalan × *Fuelconsumption* Peritase
Fuel Consumption = 0,02 % × 3,08 liter = 0,04 l/jam

Perhitungan persen daya yang dikeluarkan oleh alat angkut pada ruas jalan B-C hingga ruas jalan P-Q sama seperti perhitungan di atas. Adapun untuk nilai persen daya yang dikeluarkan dan konsumsi bahan bakar yang digunakan oleh *dump truck* hingga ruas jalan P-Q dapat dilihat pada Tabel-5.

Berdasarkan Tabel 5, diketahui konsumsi bahan bakar yang paling besar terdapat pada ruas jalan B-C, I-J, M-N dan O-P yaitu 0,21 l/ritase. Ruas jalan ini merupakan ruas jalan yang dilewati alat angkut ketika akan mengangkut *overburden* dari *loading point* ke *dumping point.* Berdasarkan perhitungan yang telah dilakukan, faktor yang menyebabkan konsumsi bahan bakar tinggi pada ruas jalan tersebut adalah tenaga atau daya yang dikeluarkan *dump truck* lebih besar karena adanya kemiringan (*grade)* jalan yang tinggi [10].

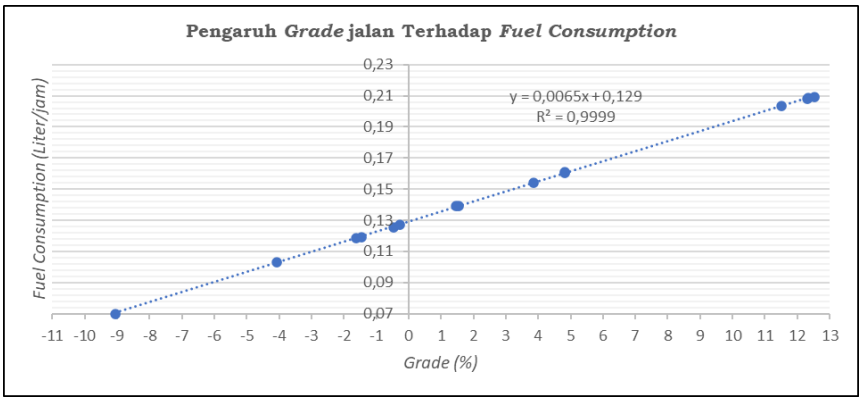
Perhitungan konsumsi bahan bakar dengan metode pembobotan minyak didapatkan *fuel consumption* aktual pada saat bermuatan adalah 2,38 l/ritase, untuk konsumsi bakar saat kosongan adalah 0,7 l/ritase, sedangkan untuk konsumsi bahan bakar pada saat *idle* adalah sebesar 0,34 Liter/ritase. Total konsumsi bahan bakar yang dihabiskan sebesar 3,42 liter/ritase.

Tabel-4. Tenaga (Daya) Yang Dibutuhkan Setiap Ruas jalan

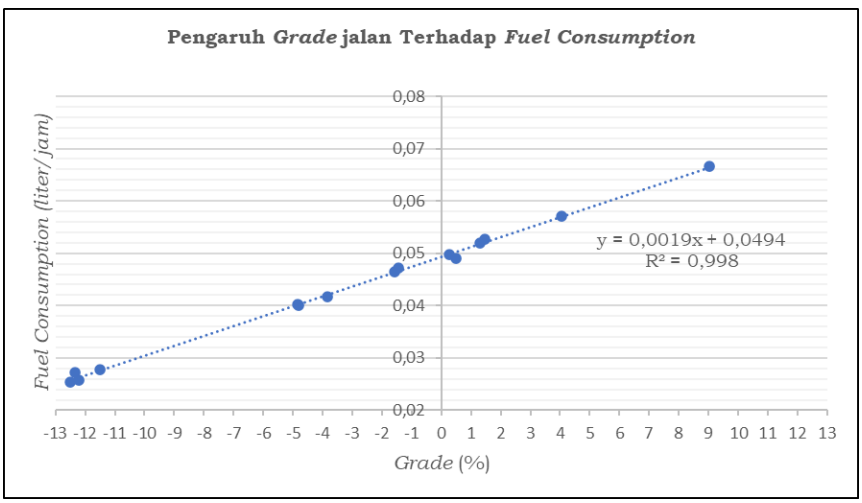
Ruas jalan Jalan	Grade (%)	P(kW)	
		Pa	Pk
A-B	4.83	50.6443	20.2822
B-C	12.20	65.4134	12.052
C-D	1.56	43.8279	23.8725
D-E	-1.47	37.4857	27.2681
E-F	-9.02	22.0148	35.4379
F-G	-0.28	39.9401	25.7773
G-H	-1.29	37.2879	27.2516
H-I	-0.48	39.4259	25.6374
I-J	11.50	64.0872	12.9182
J-K	1.45	43.8855	24.2476
K-L	3.85	48.4813	21.209
L-M	4.82	50.6048	20.2313
M-N	12.35	65.7429	12.2471
N-O	-4.06	32.3393	30.1064
O-P	12.52	65.9356	11.6639
P-Q	1.43	43.5485	24.0265
Total		**665**	**354.229**
		1104.89	

Tabel-5. *Fuel Consumption Dump Truck* (dalam liter/ritase)

Ruas jalan Jalan	P (%)		*Fuel consumption*	
	Pa	Pk	Muatan	Kosongan
A-B	0.05	0.01	0.16	0.04
B-C	0.07	0.01	0.21	0.03
C-D	0.05	0.02	0.14	0.05
D-E	0.04	0.02	0.12	0.05
E-F	0.02	0.02	0.07	0.07
F-G	0.04	0.02	0.13	0.05
G-H	0.04	0.02	0.12	0.05
H-I	0.04	0.02	0.13	0.05
I-J	0.07	0.01	0.20	0.03
J-K	0.05	0.02	0.14	0.05
K-L	0.05	0.01	0.15	0.04
L-M	0.05	0.01	0.16	0.04
M-N	0.07	0.01	0.21	0.03
N-O	0.03	0.02	0.10	0.06
O-P	0.07	0.01	0.21	0.03
P-Q	0.04	0.02	0.14	0.05
Total			**2,38**	**0,7**
			3,08 liter/ritase	



Gambar-2. Hasil Analisis Regresi Saat Bermuatan



Gambar-3. Hasil Regresi Saat Kosongan

Analisis Regresi

Berdasarkan hasil regresi *grade* dan *fuel consumption* saat alat angkut bermuatan (lihat gambar-2) menghasilkan R *square* 0,999 atau koefisien determinasi berarti 99% nilai konsumsi bahan bakar dapat dijelaskan oleh variabel *grade* jalan, sedangkan selebihnya diwakilkan oleh sebab yang lainnya yang tidak termasuk dalam data yang diambil. Nilai R *square* berada pada rentang 0 sampai 1, semakin kecil nilai R *square* semakin kecil hubungan antar variabel tersebut. Berdasarkan data diatas dapat dibuat persamaan regresi linear sederhana yaitu Y = 0,0065x + 0,129, nilai konstanta sebesar 0,129 berarti bila tidak ada variabel *grade* jalan yang mempengaruhi konsumsi bahan bakar kendaraan sebesar 0,129 liter, koefisien regresi sebesar 0,0065 berarti bahwa setiap kenaikan 1% *grade* jalan maka konsumsi bahan bakar akan meningkat 0,0065 liter. Dapat disimpulkan bahwa variabel *grade* jalan berpengaruh secara signifikan terhadap konsumsi bahan bakar. Dengan kata lain pada kondisi ruas jalan yang menanjak, semakin tinggi tanjakan maka menyebabkan kecepatan mesin berkurang dan memerlukan tanaga dari mesin yang cukup untuk menarik kendaraan bermuatan [11].

Berdasarkan hasil regresi *grade* dan *fuel consumption* saat alat angkut bermuatan (lihat gambar-3) menghasilkan R *square* 0,998 atau koefisien determinasi berarti 99% nilai konsumsi bahan bakar dapat dijelaskan oleh variabel *grade* jalan, sedangkan selebihnya dijelaskan oleh faktro yang lain yang tidak termasuk data yang diambil pada saat penelitian. R *square* berada pada rentang 0 sampai 1, semakin kecil nilai R *square* yang muncul pada hasil analisis maka semakin kecil hubungan diantara kedua variabel tersebut. Berdasarkan data diatas dapat dibuat persamaan regresi linear sederhana yaitu Y = 0,0019x + 0,0494, nilai konstanta sebesar 0,0494 berarti bila tidak ada variabel *grade* jalan yang mempengaruhi konsumsi bahan bakar kendaraan sebesar 0,2858 liter, koefisien regresi sebesar 0,0019 berarti bahwa setiap kenaikan 1% *grade* jalan maka konsumsi bahan bakar akan meningkat 0,0019 liter. Dapat disimpulkan bahwa variabel *grade* jalan berpengaruh secara signifikan terhadap konsumsi bahan bakar.

Rekomendasi Penurunan Konsumsi bahan Bakar

Upaya peningkatan efisiensi penggunaan bahan bakar pada alat angkut yaitu salah satunya dengan melakukan simulasi perubahan kemiringan jalan yang dilalui alat angkut dengan nilai kemiringan lebih dari standar yang ditetapkan (yaitu 8%) atau sesuai standar AASHTO. Perubahan kemiringan jalan pada ruas jalan yang bernilai diatas 8% diharapkan dapat mengurangi konsumsi bahan bakar pada unit alat angkut Mitsubishi Fuso 220P yang digunakan oleh PT Bhumi Sriwijaya Perdana Coal.

Ruas jalan yang akan diubah yaitu pada ruas jalan B-C dengan *grade* 12,20%, ruas jalan I-J dengan *grade* 11,51 %, ruas jalan M-N dengan *grade* 12,35%, dan ruas jalan O-P dengan *grade* 12,52% yang melampaui target PT Bhumi Sriwijaya Perdana Coal yakni 8%. Untuk ruas jalan angkut dengan kemiringan jalan yang tinggi akan diasumsikan berubah menjadi 8% dan hanya pada ruas jalan dengan posisi tanjakan pada jalur angkutan bermuatan Kemiringan jalan yang disimulasikan menjadi 8%. Perhitungan nilai *fuel consumption* pada kemiringan 8% menggunakan persamaan matematis hasil dari analisis regresi linear sederhan dari hubungan kemiringan jalan dengan *fuel consumption* yang sebelumnya telah diperhitungkan. Dimana pada persamaan regresi linear ketika alat angkut memiliki muatan didapatkan formulasi Y = 0,006x +0,129, selanjutnya didapatkan persamaan regresi ketika alat angkut kosong dengan formula Y = 0,001x + 0,049. Nilai penurunan konsumsi bahan bakar alat angkut setelah dilakukan simulasi perbaikan kemiringan jalan angkut dapat dilihat pada Tabel-6.

Tabel-6. Perbandingan *Fuel Consumption* Sebelum dan Sesudah Perbaikan Saat Kondisi Muatan Per-ritase

Ruas jalan	FC Aktual	FC Setelah Perbaikan	Hemat
A-B	0.16	0.16	-
B-C	**0.21**	**0.18**	**0.03**
C-D	0.14	0.14	-
D-E	0.12	0.12	-
E-F	0.07	0.07	-
F-G	0.13	0.13	-
G-H	0.12	0.12	-
H-I	0.13	0.13	-
I-J	**0.20**	**0.18**	**0.02**
J-K	0.14	0.14	-
K-L	0.15	0.15	-
L-M	0.16	0.16	-
M-N	**0.21**	**0.18**	**0.03**
N-O	0.10	0.10	-
O-P	**0.21**	**0.18**	**0.03**
P-Q	0.14	0.14	-
Total Hemat			**0.1**

Tabel-7. Perdandingan *Fuel Consumption* Sebelum dan Sesudah Perbaikan Saat Kondisi Kosongan Per-ritase

Ruas jalan	FC Aktual	FC Setelah Perbaikan	Hemat
A-B	0.04	0.04	-
B-C	0.03	0.03	-
C-D	0.05	0.05	-
D-E	0.05	0.05	-
E-F	0.07	0.07	-
F-G	0.05	0.05	-
G-H	0.05	0.05	-
H-I	0.05	0.05	-
I-J	0.03	0.03	-
J-K	0.05	0.05	-
K-L	0.04	0.04	-
L-M	0.04	0.04	-
N-O	0.06	0.06	-
O-P	0.03	0.03	-
P-Q	0.05	0.05	-
Total Hemat			-

Tabel-8.Estimasi *Fuel Consumption* Setelah Perbaikan

Ruas jalan	*Grade* (%)	*Fuel Consumption* (liter/ritase)	
		Muatan	Kosongan
A-B	4.83	0.16	0.04
B-C	8	0.18	0.03
C-D	1.56	0.14	0.05
D-E	-1.47	0.12	0.05
E-F	-9.02	0.07	0.07
F-G	-0.28	0.13	0.05
G-H	-1.63	0.12	0.05
H-I	-0.48	0.13	0.05
I-J	8	0.18	0.03
J-K	1.45	0.14	0.05
K-L	3.86	0.15	0.04
L-M	4.82	0.16	0.04
M-N	8	0.18	0.06
N-O	-4.06	0.10	0.03
O-P	8	0.18	0.05
P-Q	1.43	0.14	0.04
Jumlah		**2,28**	**0,7**

Ruas jalan yang menghabiskan paling banyak bahan bakar adalah ruas jalan B-C, I-J, M-N dan O-P saat kondisi muatan. Pada kondisi muatan ruas jalan B-C konsumsi bahan bakar yang dihabiskan adalah sebesar 0,21 liter. Terlihat pada ruas jalan B-C permukaan jalan sudah baik tidak ada amblesan atau tidak berlumpur tetapi pada ruas jalan tersebut memiliki *grade* yang tinggi yaitu mencapai 12,52 %. Setelah dilakukan perbaikan pada *grade* jalan dengan memaksimalkan *grade* jalan menjadi 8 %, konsumsi bahan bakar dapat dioptimalkan menjadi 0,18liter atau pada ruas jalan B-C setelah dilakukan optimalisasi konsumsi bahan bakar dapat menghemat sebanyak 0,03 liter.

Grade jalan angkut memiliki pengaruh terhadap konsumsi bahan bakar, tetapi pada kondisi kosongan, setelah *grade* dioptimalkan menjadi 8% konsumsi bahan bakar tidak berubah. Karena pada kondisi kosongan jika *grade* pada jalan turunan tinggi akan membuat konsumsi bahan bakar lebih sedikit dapat dilihat pada Tabel-7.

Penurunan tingkat kemiringan jalan (grade) menjadi 8% hanya dilakukan pada kondisi jalan tanjakan saja sehingga walaupun pada aktual dilapangan terdapat kemiringan jalan lebih besar dari 8% dengan posisi menurun pada saat bermuatan tidak dilakukan perbaikan. Hal tersebut dikarenakan ruas jalan angkut diatas 8% dengan posisi tanjakan pada saat bermuatan akan memperbesar konsumsi bahan bakar *dump truck* bermuatan.

Estimasi nilai *fuel consumption* setelah diakukan rekomendasi perbaikan kemiringan jalan adalah sebesar 2,28 liter/ritase ketika alat angkut sedang ada muatan dan 0,7 l/ritase ketika alat angkut tidak bermuatan kosong adapun total penggunaan bahan bakar untuk hauling isi dan kosong sebesar 2,98 l/ritase dan *idle* 0,34 l/jam sehingga total konsumsi bahan bakar sebesar 3,32 liter/ritase sehingga jika dalam satu jam terdapat 4 ritase didapatkan total konsumsi bahan bakar sebesar 13,12 l/jam dari yang sebelumnya sebanyak 13,7 l/jam, dan didapatkan konsumsi bahan bakar dapat menghemat sebesar 0,4 liter/jam atau 8 liter/hari dan dalam satu bulan bahan bakar dapat dihemat sebesar 240 liter untuk satu unit *dump truck,* sementara dalam kegiatan pengangkutan *overburden* dari pit Charlie menuju *disposal* pit kunci terdapat satu *fleet* dengan 4 *dump truck* sehingga total bahan bakar yang dapat dihemat adalah sebesar 960 l/bulan. Total estimasi nilai penggunaan bahan bakar pada alat angkut setelah dilakukan perubahan kemiringan jalan berdasarkan standar AASHTO telah sesuai dengan target yang direncanakan perusahaan yaitu sebesar 13,5 l/jam.

KESIMPULAN

Rata-rata konsumsi bahan bakar alat angkut Mitsubishi Fuso 220P pada saat pengangkutan tanah penutup dari titik muat ke tempat penimbunan berjarak ±1,8 km yaitu 13,7 l/jam. Pada jalur alat angkut yang bermuatan, kemiringan jalan yang melebihi nilai standar sebesar 8 % terjadi pada ruas B-C, I-J, M-N, O-P. Ruas jalan ini memiliki konsumsi bahan bakar yang lebih tinggi sehingga meningkatkan daya yang dibutuhkan alat angkut untuk melintas. Dari hasil analisis regresi linier sederhana diperoleh pengaruh sebesar 99 % dengan formula Y = 0,006x + 0,129 Dimana hasil tersebut menyatakan bahwa kamiringan jalan sangat berpengaruh kuat terhadap konsumsi bahan bakar alat angkut berdasarkan data yang dikumpulkan dilapangan. Pada ruas jalan B-C (grade 12,20 %), ruas jalan I-J (11,50 %), ruas jalan M-N (grade 12,35 %) dan ruas jalan O-P (grade 12,52 %), diperbaiki menjadi sebesar 8 % didapatkan perkiraan konsumsi bahan bakar untuk bulan Mei adalah 13,28 l/jam dibandingkan sebelumnya 13,7 l/jam. Sehingga terjadi penghematan konsumsi bahan bakar sebesar 0,4 liter/jam atau 240 l/bulan untuk setiap dump truck Mitsubishi Fuso 220P.

Analisis berkala terhadap kecepatan alat angkut di jalur pengangkutan diperlukan untuk mengidentifikasi area bermasalah di setiap ruas jalan angkut tambang untuk menjaga efisiensi konsumsi bahan bakar. Selain itu, merancang jalan angkut tambang dengan benar sejak awal sesuai standar yang ditetapkan diperlukan agar biaya tambahan yang signifikan untuk melakukan perbaikan jalan tidak perlu terjadi.

DAFTAR PUSTAKA

[1] Y. Megasukma, *et al*,. “Karakteristik Material Jalan Angkut Tambang Berdasarkan Uji Atterberg dan California Bearing Ratio,” *J. GEOSAPTA*, vol. 9, no. 1, p. 15, 2023.

[2] M. Mushawir, *et al.*, “Optimasi Konsumsi Fuel Dump Truck Terhadap Pengaruh Grade Jalan Pada Aktivitas Penambangan Pada PT. Pamapersada Nusantara Kecamatan Sangatta Utara Kabupaten Kutai Timur,” *Mineral*, vol. 7, no. 2, pp. 8–13, 2022.

[3] G*uide for Design of Pavement Structures*, AAHSTO, Capitol Street, Washington D.C., 1993.

[4] Y. A. Yulanda, *et al.*, "Upaya Pengurangan Durasi

Slippery Jalan Angkut Overburden dan Rekomendasi Desain Geometri Jalan di PT. Bintang Sukses Energi: Efforts to Reduce the SLippery Duration of Overburden Transport Road and Recommendations for Road Geometry Design at PT. Bintang Sukses Energi." *JTK (Jurnal Teknik Kebumian),* vol. 10, no. 01, pp. 1-10, 2023.

[5] Y. Indonesianto, *Pemindahan Tanah Mekanis*. Yogyakarta: CV. Awan Putih, 2003.

[6] A. Tenriajeng, *Pemindahan Tanah Mekanis*. Jakarta: Gunadarma, 2003.

[7] R. Ardian, *et al.*, "Kajian Pengaruh Jarak dan Kemiringan Jalan terhadap Konsumsi Bahan Bakar dengan Menggunakan Analisis Regresi Linier Berganda di Tambang Sirtu CV Arindo," *Prosiding Teknik Pertambangan,* pp. 201–209, 2020.

[8] L. K. Sahoo, *et al.*, "Energy performance of dump trucks in opencast mine," *Proc. 23rd Int. Conf. Effic. Cost, Optim. Simulation, Environ. Impact Energy Syst. ECOS 2010*, vol. 5, pp. 111–118, 2010.

[9] A. W. Pratama and Y. M. Anaperta, "Analisis Hubungan Total Resistance dan Kemiringan Jalan Terhadap Konsumsi Bahan Bakar Dump Truck Hino 500 FM 260 JD pada Kegiatan Penambangan Bauksit di PT. Bhakti Karya Mandiri Site Teraju, Kabupaten Sanggau, Provinsi Kalimantan," *Bina Tambang*, vol. 5, no. 5, pp. 89–100, 2020.

[10] B. P. Octaviani, "Analisa Kewajaran Atas Penggunaan Bahan Bakar Pada Alat Gali-Muat Dan Alat Angkut Menggunakan Uji Dua-Ujung," *Pros. Tpt Xxix Perhapi 2020*, pp. 293–308, 2020.

[11] R. R. Wincono and J. R. Horman, "Analisis Pengaruh Kemiringan Jalan Angkut Terhadap Konsumsi Bahan Bakar Dump Truck Hino 500 Fg 235 Jj," *INTAN J. Penelit. Tambang*, vol. 2, no. 2, pp. 155–160, 2022.