

Kajian Geometri Jalan Angkut Terhadap Fuel Ratio Pada Penambangan Batubara Seam A2 Di PT Bukit Asam Tbk, Tanjung Enim

Study Of Hauling Road Geometry On Fuel Ratio In A2 Seam Coal Mining At Pt Bukit Asam Tbk, Tanjung Enim

Vandya Aulia Azzahra Chandradevi¹, Wawong Dwi Ratminah¹, Kristanto Jiwo Saputro^{1*}, Shofa Rijalul Haq¹, Inmarlinianto¹

¹ Prodi Sarjana Teknik Pertambangan, Jurusan Teknik Pertambangan Fakultas Teknologi Mineral dan Energi, Universitas Pembangunan Nasional "Veteran" Yogyakarta, Jl. SWK 104 (Lingkar Utara), Yogyakarta 55283 Indonesia

*Penulis korespondensi

e-mail: kristanto.jiwosaputro@upnyk.ac.id

ABSTRAK

Jalan angkut merupakan salah satu faktor yang memiliki peran penting dalam menunjang efisiensi operasi pengangkutan batubara. Kondisi geometri jalan angkut akan berpengaruh terhadap konsumsi bahan bakar dan produktivitas alat angkut. Penelitian ini memiliki tujuan untuk mengevaluasi kondisi geometri jalan angkut, serta mengkaji mengenai dampak dari geometri jalan angkut terhadap konsumsi bahan bakar dan produktivitas di PT Bukit Asam Tbk, Tanjung Enim, Sumatera Selatan. Metode penelitian mencakup studi literatur dan observasi lapangan untuk memperoleh data primer dan sekunder mengenai kondisi geometri jalan angkut batubara. Dari hasil observasi lapangan dilakukan analisis dengan metode simulasi untuk nilai rimpul yang dihasilkan. Hasil analisis ditemukan bahwa ketidaksesuaian geometri seperti lebar jalan yang kurang memadai, kemiringan curam, radius tikungan kecil, serta superelevasi dan cross slope yang tidak sesuai. Hal tersebut dapat meningkatkan konsumsi bahan bakar dan menurunkan produktivitas. Upaya perbaikan yang dilakukan, meliputi pelebaran jalan, penyesuaian kemiringan, pengaturan superelevasi, cross slope, serta memperbesar radius tikungan pada beberapa ruas, terbukti mampu meningkatkan kapasitas angkut dari 56.696,64 ton/bulan menjadi 66.527,65 ton/bulan. Jumlah ritase juga meningkat dari 1,69 kali/jam menjadi 2,02 kali/jam, sementara konsumsi bahan bakar sedikit menurun dari 10,59 liter/jam menjadi 10,58 liter/jam. Perubahan tersebut berdampak pada penurunan fuel ratio dari 0,48 menjadi 0,41 yang telah sesuai dengan standar perusahaan. Temuan ini menegaskan bahwa kondisi geometri jalan angkut memiliki pengaruh langsung terhadap produktivitas, penggunaan bahan bakar, serta nilai fuel ratio.

Kata Kunci : geometri jalan angkut, konsumsi bahan bakar, produktivitas, rasio bahan bakar

ABSTRACT

Haul road geometry plays a critical role in ensuring the efficiency of coal transportation operations, directly influencing fuel consumption and equipment productivity. This study, conducted at PT Bukit Asam Tbk, Tanjung Enim, South Sumatra, aims to evaluate the conformity of haul road geometry with applicable standards and to assess its impact on fuel consumption and productivity. The research employed literature review and field observation to collect primary and secondary data, followed by rimpull simulation analysis. The findings indicate that geometric deficiencies—including inadequate road width, steep gradients, small curve radii, and improper superelevation and cross slope—contribute to higher fuel consumption and reduced productivity. Improvement measures, such as road widening, gradient adjustment, superelevation and cross slope correction, and increased curve radii, successfully enhanced hauling capacity from 56,696.64 tons/month to 66,527.65 tons/month. Moreover, cycle frequency increased from 1.69 trips/hour to 2.02 trips/hour, while fuel consumption slightly decreased from 10.59 liters/hour to 10.58 liters/hour. Consequently, the fuel ratio improved from 0.48 to 0.41, meeting company standards. These results demonstrate that optimized haul road geometry significantly improves productivity, fuel efficiency, and operational performance.

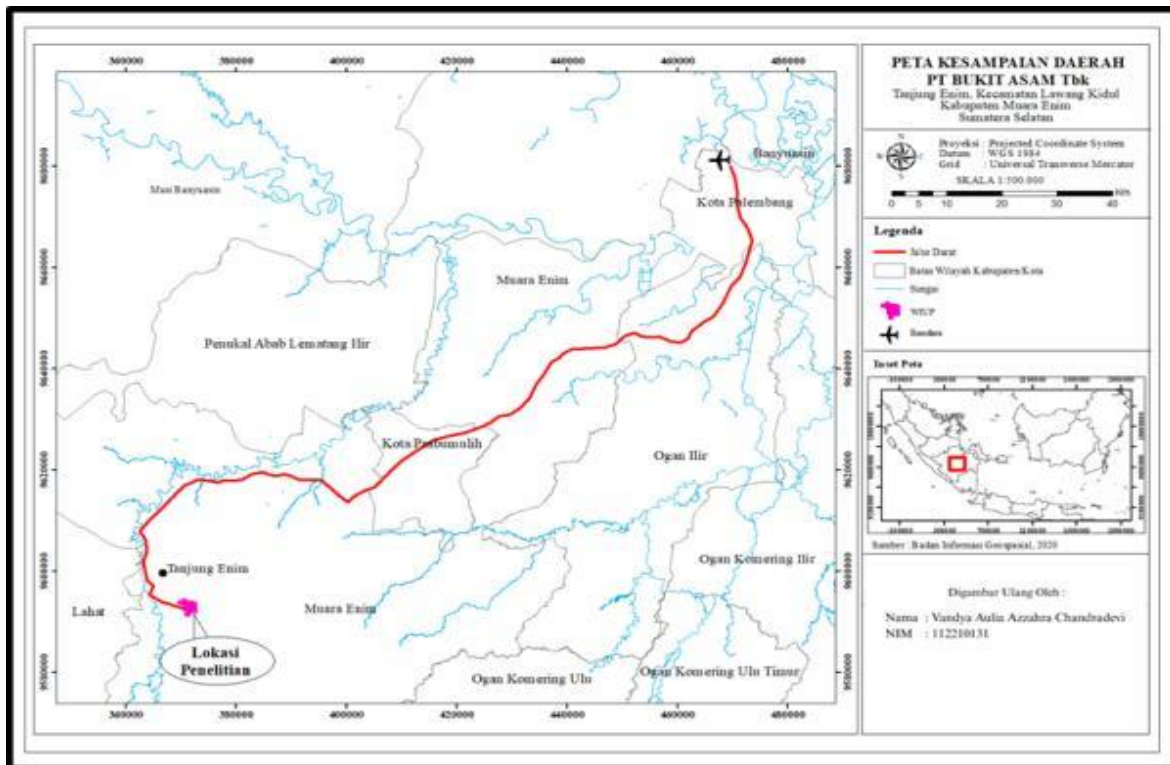
Keywords: fuel consumption, fuel ratio, haul road geometry, productivity.

Naskah masuk	: 3 Oktober 2025
Revisi pertama	: 27 Januari 2026
Naskah diterima	: 27 Januari 2026
Naskah dipublikasi online	: 28 Januari 2026

I. PENDAHULUAN

PT Bukit Asam Tbk, merupakan sebuah perusahaan BUMN yang mengusahakan penambangan batubara di Tanjung Enim, Kabupaten Muara Enim, Sumatera Selatan. PT Bukit Asam UPTA ini memiliki 3 site yaitu Tambang Air Laya (TAL), Tambang Muara Tiga Besar (MTB), dan Tambang Banko Barat. Tambang Banko Barat PT Bukit Asam Tbk memiliki 4 pit yaitu Pit 1, Pit 2, Pit 3, dan Pit E. Lokasi penelitian ini dilakukan di Pit 2 Tambang Banko Barat yang memiliki 5 lapisan batubara antara lain seam A1, A2, B1, B2, dan C. Di Pit 2 ini terdapat 6 fleet penambangan batubara dengan menggunakan 2 tipe alat muat yaitu PC 480 dan PC 500. Pada fleet penambangan batubara seam A2 digunakan alat muat PC 480 dan alat angkut DT Volvo FMX 420. Untuk menunjang kelancaran kegiatan pengangkutan,

diperlukan geometri jalan angkut yang memenuhi standar yang telah ditetapkan oleh pemerintah dan perusahaan. Jalan angkut yang ada di PT Bukit Asam Tbk. saat ini memiliki sejumlah keterbatasan dalam hal lebar jalan, radius tingkungan, superelevasi, dan cross slope. Hal itu menyebabkan penggunaan bahan bakar yang kurang efisien sebesar 10,59 liter/jam. Penggunaan bahan bakar tersebut telah melewati ambang batas yang telah ditetapkan oleh perusahaan sebesar 10 liter/jam. Dari kegiatan pengangkutan yang ada, diperoleh produksi sebesar 56.696,64 ton/bulan. Produksi tersebut tidak memenuhi target dari perusahaan yaitu 60.000 ton/bulan. Sehingga diperoleh fuel ratio sebesar 0,48 dan telah melewati ambang batas yang ditetapkan perusahaan yaitu 0,45. Ketidaksiharian geometri jalan angkut dengan standar dapat menyebabkan peningkatan konsumsi bahan bakar yang tidak proporsional terhadap produksi batubara sehingga akan meningkatkan fuel ratio



Gambar 1. Peta Kesampaian Daerah

II. METODE

Penelitian ini menggunakan metode yang terdiri dari studi literatur, observasi lapangan, pengambilan data, serta pengolahan dan analisis data. Pengambilan data yang dilakukan dibagi menjadi 2, yaitu pengambilan data sekunder yang didapat dari perusahaan dan data primer seperti data waktu edar alat angkut, data geometri *front* penambangan, dan data geometri jalan angkut. Pengolahan dan analisis data dilakukan untuk memperoleh hasil perhitungan geometri *front* dan jalan angkut, produktivitas alat angkut, konsumsi bahan bakar, dan fuel ratio.

Kebutuhan konsumsi bahan bakar suatu peralatan merupakan hal penting yang harus diketahui. Pendekatan dasar untuk memperkirakan konsumsi bahan bakar dilakukan dengan berdasarkan asumsi menurut tipe mesin yang digunakan lalu mencari *load factor* yang diaplikasikan sesuai medan yang dilalui. (Klanfar dkk, 2016). Persamaan yang digunakan adalah sebagai berikut :

$$\text{Konsumsi bahan bakar} = \frac{\text{Berat Bahan/hp/jam}}{\text{Berat bahan bakar/galon}} \times \text{BHP} \times \text{LF}$$

Keterangan :

Berat Bahan Bakar/hp/jam = 0,5 lb
 Berat Bahan Bakar/liter = 7,2 lb/liter
 BHP = Brake Horse Power
 LF = Load Factor

Secara umum, load factor merupakan rasio yang menunjukkan antara jumlah sesungguhnya yang dipakai dengan jumlah maksimum yang memungkinkan untuk digunakan. Pada keilmuan teknik khususnya mesin, load factor didefinisikan sebagai bagian dari daya mesin yang terukur dan digunakan ketika proses mesin tersebut berlangsung (Klanfar dkk, 2016). Nilai load factor dapat ditentukan dengan dua cara perhitungan. Perhitungan pertama dari rimpull yang digunakan dibagi dengan rimpull yang tersedia dari gigi yang digunakan alat angkut, lalu yang kedua adalah menghitung jumlah perputaran mesin yang digunakan per menit dibagi dengan jumlah perputaran maksimum per menit dari mesin yang digunakan (Indonesianto, 2014 dalam Adha dkk, 2023). Load factor dapat diperoleh dengan persamaan :

$$\text{Load Faktor} = \frac{\text{Rimpull yang dipakai}}{\text{Rimpull yang tersedia}}$$

Fuel ratio didapatkan dari hasil perbandingan antara total bahan bakar yang dikonsumsi pada waktu melakukan kegiatan dengan total produksi yang dihasilkan pada waktu operasi dalam waktu tertentu, jadi dengan kata lain *fuel ratio* adalah jumlah bahan bakar (liter) yang dibutuhkan untuk memperoleh 1 BCM overburden atau 1 ton batubara. (Merlin Nabella, 2016). Fuel Rasio dapat dihitung dengan menggunakan persamaan :

$$\text{Fuel Ratio} = \frac{\text{Total Konsumsi Bahan Bakar}}{\text{Total produksi persatuan waktu}}$$

Produktivitas adalah kemampuan alat mekanis untuk menghasilkan produksi yang dihitung dalam jam (Anisari, 2016). Produktivitas alat angkut dipengaruhi oleh banyaknya trip atau lintasan yang dapat dicapai oleh alat angkut tersebut per satuan waktu. Waktu edar dan efisiensi kerja alat merupakan faktor yang mempengaruhi jumlah perjalanan. Persamaan yang dapat digunakan untuk menghitung produktivitas alat angkut :

$$\text{Produktivitas} = \frac{3600}{CTM} \times K_b \times N \times Bff \times Sf \times Eff$$

Keterangan :

Pta = produktivitas Alat Angkut (ton/jam)
 Cta = waktu edar Alat Angkut (detik)
 Kb = kapasitas *bucket* (m³)

N = banyaknya pengisian mangkok ke dalam bak Alat Angkut

Bff = *bucket fill factor* (%)

Sf = swell factor

Eff = efisiensi kerja (%)

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Perbandingan Target dan Aktual

Data target dan aktual produktivitas, konsumsi bahan bakar, dan fuel ratio rata-rata terdapat pada tabel 1.

Tabel 1. Perbandingan Target dan Aktual

	Produksi (Ton/Bulan)	Fuel (liter/jam)	Fuel <i>Ratio</i>
Target	60.000,00	10,00	0,45
Aktual	56.696,64	10,59	0,48

Sifat Fisik Material

1. Faktor Pengembangan (Swell Factor)

Penelitian yang dilakukan oleh perusahaan terhadap material batubara, memperoleh nilai loose density sebesar 0,97 kg/m³ dan bank density sebesar 1,26 kg/m³. Dari perhitungan, diperoleh nilai swell factor sebesar 0,77.

2. Bucket Fill Factor

Nilai bucket fill factor diperoleh hasil sebesar 86,67%. Dimana angka tersebut diperoleh dari perbandingan antara volume nyata dengan volume teoritis.

Efisiensi Kerja

Efisiensi kerja DT Volvo FMX 420 aktual dihitung berdasarkan total hambatan kerja serta waktu kerja yang tersedia per hari.

Tabel 2. Waktu Edar Alat Angkut

Efisiensi Kerja	
Hambatan yang dapat ditekan (jam)	3,19
Hambatan Tidak Dapat Ditekan (jam)	6,87
Total Hambatan Kerja	9,85
Waktu tersedia/hari	20,83
Efisiensi Kerja (%)	51,75%
Waktu kerja efektif	10,78

Waktu Edar

Waktu edar yang diperoleh mewakili rata-rata waktu edar DT Volvo FMX 420 selama pengamatan di lapangan

Tabel 3. Waktu Edar Alat Angkut

Waktu Edar Alat Angkut	
Keterangan	Waktu (detik)
<i>Manuver Loading</i>	30
<i>Loading</i>	183
<i>Hauling isi</i>	855
<i>Maneuver Dumping</i>	39
<i>Dumping</i>	44
<i>Hauling</i> tidak bermuatan	761
Waktu Tunggu <i>front</i>	149
Waktu tunggu Segmen B-C	27

Waktu tunggu segmen L-M	40
Total Waktu Edar	2.128

Geometri Front Penambangan

Geometri front penambangan pada front batubara seam A2 memiliki lebar front sebesar 36 meter dan tinggi front 5 meter.

Geometri Jalan Angkut

1. Lebar Jalan Angkut Kondisi Lurus

Terdapat 11 segmen jalan kondisi lurus pada kegiatan pengangkutan batubara seam A2 di Pit 2 PT Bukit Asam Tbk.

Tabel 4. Lebar Jalan Angkut pada Jalur Lurus Aktual

Segmen	Panjang (m)	Lebar Jalan Aktual (m)
A-B	90	7
D-E	326	8
F-G	128	22
H-I	213	21
K-L	281	20
L-M	207	18
P-Q	360	25
S-T	225	24
U-V	223	26
W-X	417	26
X-Y	761	28

2. Lebar Jalan Angkut Kondisi Tikungan

Pada jalan angkut batubara seam A2 terdapat 13 jalan tikungan.

Tabel 5. Lebar Jalan Angkut Pada Tikungan Aktual

Segmen	Panjang (m)	Lebar jalan aktual (m)
B-C	147	6
C-D	147	8
E-F	137	20
G-H	117	25
I-J	220	25
J-K	337	24
M-N	73	28
N-O	95	28
O-P	342	29
Q-R	544	27
R-S	387	28
T-U	468	28
V-W	432	28

3. Radius tikungan

Radius tikungan Jalan angkut batubara seam A2 dapat dilihat pada tabel 6.

Tabel 6. Radius Tikungan Aktual

Segmen	Radius Tikungan Aktual (m)
B-C	29,3
C-D	24,2
E-F	175,5
G-H	100,6
I-J	329,6

J-K	285,3
M-N	165,5
N-O	122,4
O-P	100,7
Q-R	165,5
R-S	373,7
T-U	108,6
V-W	62,1

Produktivitas

Produksi diperoleh dari produktivitas ton/jam dalam 20,83 jam waktu tersedia per hari selama 30 hari.

Tabel 9. Produktivitas Alat Angkut

Produktivitas Alat Angkut	
CT (detik)	2.128
SF	0,77
BFF (%)	86,87
KB (m ³)	3,686
EFF (%)	51,75
N	10
Jumlah Alat	8
Produksi (Ton/Jam)	21,58
Prproduksi (Ton/Bulan)	55.839,33

Upaya Perbaikan

Berdasarkan hasil pengukuran pengambilan data di lapangan, ditemukan bahwa beberapa segmen jalan angkut belum sepenuhnya memenuhi standar geometri yang telah ditetapkan oleh perusahaan maupun acuan teknis yang berlaku. Oleh sebab itu dilakukan upaya perbaikan terhadap geometri jalan, antara lain :

1. Lebar jalan angkut

Lebar jalan angkut dibagi menjadi dua yaitu lebar jalan angkut pada kondisi jalan lurus dan pada kondisi jalan tikungan. Yang dapat dilihat pada tabel di bawah ini

Tabel 10. Perbaikan Lebar Jalan Angkut Kondisi Lurus

Segmen Jalan	Panjang (m)	Lebar Jalan Aktual (m)	Penambahan lebar jalan (m)
A-B	90	7	17
D-E	326	8	16
F-G	128	22	2
H-I	213	21	3
K-L	281	20	4
L-M	207	18	6

Tabel 11. Perbaikan Lebar Jalan Angkut Kondisi Tikungan

Segmen Jalan	Panjang (m)	Lebar Jalan Aktual (m)	Penambahan lebar jalan (m)
B-C	147	6	21
C-D	147	8	19
E-F	137	20	7
G-H	117	25	2
I-J	220	25	2
J-K	337	24	3

2. Radius Tingkungan

alat angkut. Radius tikungan minimum untuk alat DT Volvo FMX 420 adalah 46,1 meter.

3. Kemiringan Jalan Angkut (Grade)

Grade jalan yang ditetapkan berdasarkan standar parameter perusahaan dengan rekomendasi kurang dari 8% (lihat Lampiran P.5). Besar kecilnya grade jalan akan berpengaruh pada kecepatan alat angkut dan juga berpengaruh pada konsumsi bahan bakar alat angkut. Berdasarkan pengambilan data di lapangan, masih terdapat 1 segmen yang memiliki grade jalan diatas 8% sehingga diperlukan perbaikan mengenai grade jalan tersebut. Segmen jalan yang tidak memenuhi standar terdapat pada segmen B-C dengan grade 10,7%. Perbaikan dilakukan dengan penimbunan pada segmen A-B dan B-C setinggi 4,2 meter sehingga grade dapat diturunkan dari 10,7% menjadi 7% pada segmen B-C. Pada segmen B-C dilakukan perbaikan grade dari 10,7% ke 7% meskipun standar maksimum dari perusahaan adalah 8%. Hal ini dilakukan sebagai penerapan dalam pengendalian grade resistance, dengan tujuan untuk menurunkan total resistance, rimpull, dan load factor. Langkah tersebut diharapkan dapat mengurangi beban kerja alat dan menurunkan konsumsi bahan bakar.

Hasil Setelah Perbaikan

Dalam pembuatan jalan menikung, radius tikungan harus lebih besar atau sama dengan radius lintasan

Kondisi geometri jalan yang tidak sesuai dapat menimbulkan berbagai hambatan seperti adanya waktu tunggu di beberapa segmen jalan sempit, meningkatnya tahanan gerak, menurunnya kecepatan alat, hingga memperlambat waktu edar sehingga dapat mempengaruhi produksi.

Pada penelitian ini, dilakukan percobaan kalkulasi waktu edar teoritis melalui simulasi rimpull. Berdasarkan pengolahan data, diperoleh waktu pengangkutan muatan sebesar 855 detik dan waktu pengangkutan tidak bermuatan sebesar 761 detik. Dari perbaikan yang telah dilakukan melalui simulasi rimpull, terjadi peningkatan pada kecepatan hauling isi dari 28 km/jam menjadi 29 km/jam. Sedangkan kecepatan pada hauling kosong mengalami peningkatan dari 32 km/jam menjadi 36 km/jam. Berdasarkan perbaikan yang telah dilakukan, didapatkan waktu pengangkutan muatan sebesar 825 detik dan waktu pengangkutan tidak bermuatan sebesar 665 detik. Selain hal itu, perbaikan jalan dapat menghilangkan waktu tunggu di beberapa segmen jalan sempit. Dari hasil perbaikan yang telah dilakukan, diperoleh waktu edar sebesar 1.787 detik. Waktu edar tersebut mengalami penurunan sebesar 341 detik atau 5,7 menit dari waktu edar aktual. Perbedaan waktu edar dapat dilihat pada tabel 12.

Tabel 12. Perbandingan Waktu Edar Alat Angkut Aktual dan Perbaikan

	Waktu Edar (detik)									
	Ta1	Ta2	Ta3	Ta4	Ta5	Ta6	Wt1	Wt2	Wt3	CT
A	30	183	855	39	45	761	149	27	39	2.128
P	30	183	825	39	45	665	0	0	0	1.787

Keterangan :

A : Aktual

P : Perbaikan

Ta1 : Waktu manuver tidak bermuatan (detik)

Ta2 : Waktu loading (detik)

Ta3 : Waktu hauling bermuatan (detik)

Ta4 : Waktu manuver bermuatan (detik)

Ta5 : Waktu dumping (detik)

Ta6 : Waktu hauling tidak bermuatan (detik)

Wt1 : Waktu Tunggu di Front (detik)

Wt2 : Waktu Tunggu di segmen B-C

Wt3 : Waktu Tunggu di segmen S-T

Produksi akan mengalami perubahan jika terdapat modifikasi pada parameter waktu edar. Alternatif perbaikan jalan hanya memperbaiki waktu siklus selama pengangkutan muatan dan perjalanan kosong kembali, sehingga waktu untuk pengambilan posisi

pemuatan, waktu pemuatan, pengambilan posisi penumpahan, dan waktu penumpahan diasumsikan tetap sama seperti kondisi aktual. Perbandingan produksi alat angkut aktual dan perbaikan dapat dilihat pada tabel 13.

Tabel 13. Perbandingan Produksi Alat Angkut Aktual dan Perbaikan

	CT (detik)	SF	BFF (%)	KB (m3)	EFF (%)	n	Jumlah Alat	Produksi	
								Ton/Jam	Ton/Bulan
A	2128	0,77	86,87	3,686	51,75	10	8	21,58	55.839,22
P	1787	0,77	86,87	3,686	51,75	10	8	25,53	66.527,65

Keterangan :

A : Aktual

P : Perbaikan

CT : Cycle Time/ Waktu edar

Kb = kapasitas bucket (m3)

n = banyaknya pengisian mangkok ke dalam bak Alat Angkut

Bff = bucket fill factor (%)

SF = swell factor

Eff = efisiensi kerja (%)

Perhitungan Konsumsi Bahan Bakar

Konsumsi bahan bakar dipengaruhi oleh besarnya rimpul yang dikeluarkan untuk mengatasi setiap hambatan/ *resistance*. Pada penelitian ini hambatan yang terjadi adalah hambatan gulir/ *rolling resistance* dan hambatan kemiringan/ *grade resistance*. *Roliing resistance* dipengaruhi oleh kondisi jalan pada lokasi penelitian. Berdasarkan hasil pengamatan, kondisi jalan di lokasi penelitian termasuk ke dalam jalan yang kokoh, halus, bergulir dengan permukaan berdebu atau ringan, melentur sedikit di bawah beban atau bergelombang, dirawat secara teratur, dan disiram.

Dari hasil pengamatan, jalan angkut tersebut dapat diklasifikasikan dengan nilai rolling resistance sebesar 65 lb/ton. Nilai ini berada dalam kisaran ideal untuk jalan tambang yang dipadatkan dengan baik dan menunjukkan bahwa kondisi permukaan jalan cukup optimal dalam mendukung kelancaran operasi alat angkut. Dengan kondisi tersebut, maka tidak dilakukan perbaikan terhadap permukaan jalan.

Grade Resistance mengalami perubahan akibat adanya perbaikan geometri jalan yaitu mengenai kemiringannya. Perubahan tersebut dapat dilihat pada tabel 14.

Tabel 14. Perbandingan Grade Resistance Aktual dan Perbaikan

Segmen Jalan	GR Aktual (lb/ton)		GR Perbaikan (lb/ton)	
	Bermuatan	Tidak bermuatan	Bermuatan	Tidak bermuatan
A-B	22,44	-22,44	22,44	-22,44
B-C	214,90	-214,90	140,00	-140,00
C-D	74,69	-74,69	74,69	-74,69
D-E	71,73	-71,73	71,73	-71,73
E-F	64,15	-64,15	64,15	-64,15
F-G	32,05	-32,05	32,05	-32,05
G-H	1,73	-1,73	1,73	-1,73
H-I	69,59	-69,59	69,59	-69,59
I-J	41,37	-41,37	41,37	-41,37
J-K	31,56	-31,56	31,56	-31,56
K-L	-37,13	37,13	-37,13	37,13
L-M	-31,72	31,72	-31,72	31,72
M-N	30,09	-30,09	30,09	-30,09
N-O	-46,06	46,06	-46,06	46,06
O-P	5,93	-5,93	5,93	-5,93
P-Q	-54,32	54,32	-54,32	54,32
Q-R	-34,59	34,59	-34,59	34,59
R-S	21,24	-21,24	21,24	-21,24
S-T	105,26	-105,26	105,26	-105,26
T-U	4,36	-4,36	4,36	-4,36
U-V	37,51	-37,51	37,51	-37,51
V-W	39,65	-39,65	39,65	-39,65
W-X	41,42	-41,42	41,42	-41,42
X-Y	-2,66	2,66	-2,66	2,66

Keterangan :

+ : Jalan Menanjak

- : Jalan Menurun

Total resistance merupakan keseluruhan hambatan yang dialami oleh suatu peralatan. Alat angkut yang bergerak mengalami hambatan pada jalan berupa *rolling resistance* dan *grade resistance*. *Rolling resistance* pada penelitian ini dianggap konstan sedangkan *grade resistancenya* bervariasi. Secara umum, nilai *grade resistance* mengalami penurunan pada segmen jalan setelah dilakukan perbaikan pada kemiringan jalan angkut. Penurunan tersebut terletak pada segmen B-C dari 214,90 lb/ton menjadi 140,00 lb/ton. Penurunan nilai ini menunjukkan bahwa perbaikan geometri jalan membawa dampak positif terhadap pengurangan beban kerja alat angkut dan

potensi penghematan konsumsi bahan bakar. Dari hasil perhitungan *rolling resistance*, *grade resistance*, dan rimpull percepatan, diperoleh total resistance dan rimpull yang digunakan untuk mengatasi total resistance yang terjadi. Berdasarkan Tabel 15, terlihat bahwa terdapat variasi nilai rimpull antar segmen jalan. Perbandingan antara kondisi aktual dan kondisi perbaikan menunjukkan bahwa sebagian besar segmen mengalami peningkatan nilai rimpull, yang mengindikasikan perbaikan performa kendaraan dalam mengatasi hambatan jalan. Perbaikan dalam peningkatan rimpull terjadi pada segmen B-C, dengan nilai rimpull muatan mengalami penurunan dari

20.547,93 lb menjadi 15.416,1 lb dan dalam kondisi tidak bermuatan dari 5.011,53 lb menjadi 2.121,90 lb. Hal ini menunjukkan bahwa perbaikan jalan di segmen tersebut mendukung peningkatan kemampuan traksi kendaraan dan mengurangi konsumsi bahan bakar. Penurunan nilai rimpul pada segmen jalan B-C juga akan membuat penurunan pada nilai *load factor*. Nilai *load factor* setelah dilakukan perbaikan jalan, yaitu pada segmen B-C dalam kondisi bermuatan dari 0,98 menjadi 0,92. Sama halnya pada kondisi bermuatan, pada segmen B-C dalam kondisi tidak bermuatan juga mengalami penurunan secara signifikan dari 1,14 menjadi 0,48. Penurunan ini dapat disebabkan oleh perubahan kecepatan akibat modifikasi geometri jalan sehingga konsumsi bahan bakar semakin berkurang.

Tabel 15. Perbandingan Fuel Ratio Aktual dan Perbaikan

	Konsumsi Bahan Bakar (liter/jam)	Produktivitas (ton/jam)	Fuel Ratio
Standar	10	22,44	0,45
Aktual	10,59	21,91	0,48
Teoritis	10,46	21,58	0,48
Perbaikan	10,58	25,71	0,41

Perbaikan geometri jalan angkut seperti pelebaran jalan dan perbaikan grade jalan, terjadi penurunan konsumsi bahan bakar dari 10,59 liter/jam pada kondisi aktual di lapangan dan 10,46 liter/jam secara teoritis menjadi 10,58 liter/jam. Nilai penurunan konsumsi bahan bakar ini belum memenuhi standar yang ditetapkan oleh perusahaan karena dalam perbaikan geometri jalan angkut ini berpengaruh terhadap cycle time alat angkut sehingga menyebabkan naiknya ritase dari 1,69 menjadi 2,02 ritase. Di sisi lain, Perbaikan geometri jalan angkut, seperti pelebaran dan perbaikan kemiringan jalan (grade), berkontribusi terhadap peningkatan produktivitas melalui pengurangan waktu edar akibat eliminasi waktu tunggu serta peningkatan kecepatan angkut berdasarkan hasil simulasi rimpull. Penurunan waktu edar tersebut berakibat pada peningkatan produktivitas yang cukup signifikan, dari 21,91 pada kondisi aktual di lapangan dan 21,58 ton/jam secara teoritis menjadi 25,71 ton/jam. Kombinasi antara berkurangnya konsumsi bahan bakar dan meningkatnya produktivitas ini menyebabkan nilai fuel ratio menurun dari 0,48 baik pada kondisi aktual di lapangan maupun secara teoritis menjadi 0,41 dimana data tersebut telah memenuhi standar fuel ratio yang telah ditetapkan oleh perusahaan. Hal itu menunjukkan bahwa perbaikan geometri jalan angkut berdampak positif terhadap efisiensi operasi pengangkutan batubara.

IV. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil pengolahan dan analisis data, maka dapat disimpulkan menjadi 3 poin sebagai berikut :

1. Geometri jalan angkut pada lokasi penelitian tidak memenuhi standar perusahaan, khususnya dalam aspek lebar jalan, kemiringan, superelevasi, dan cross

Pada segmen B-C, konsumsi bahan bakar dalam kondisi muatan turun dari 14,56 liter menjadi 13,63 liter, dan dalam kondisi tidak bermuatan turun secara signifikan dari 16,99 liter menjadi 7,19 Liter. Penurunan konsumsi bahan bakar ini disebabkan oleh perbaikan geometri jalan, khususnya pada aspek kemiringan jalan (grade), yang sebelumnya melebihi standar dan menimbulkan hambatan yang tinggi bagi alat angkut. Setelah dilakukan normalisasi grade, hambatan kemiringan (grade resistance) berkurang secara signifikan. Hal ini menyebabkan penggunaan bahan bakar menurun. Untuk mengukur sejauh mana peningkatan konsumsi bahan bakar ini memengaruhi efisiensi operasional, dilakukan perhitungan fuel ratio.

slope. Kemudian dilakukan perbaikan berupa pelebaran jalan pada segmen jalan yang tidak memenuhi, penimbunan pada segmen A-B dan B-C untuk mengurangi kemiringan jalan, serta penyesuaian superelevasi dan cross slope. Setelah dilakukan evaluasi dan penyesuaian terhadap geometri jalan tersebut, waktu edar alat angkut mengalami penurunan.

2. Produksi alat angkut DT Volvo FMX 420 yang sebelumnya tidak memenuhi target perusahaan berhasil ditingkatkan melalui perbaikan geometri jalan. Produksi meningkat dari 56.696,64 ton/bulan pada kondisi aktual dan 55.8399,22 ton/bulan secara teoritis menjadi 66.527,65 ton/bulan, yang disebabkan oleh berkurangnya waktu tunggu dan meningkatnya kecepatan alat angkut di jalur yang telah diperbaiki.

3. Konsumsi bahan bakar alat angkut DT Volvo FMX 420 yang semula melebihi ambang batas perusahaan, terbukti dapat ditekan melalui perbaikan geometri jalan. Hasil perbaikan menunjukkan adanya perubahan konsumsi bahan bakar dari 10,59 liter/jam pada kondisi aktual di lapangan dan 10,46 liter/jam secara teoritis menjadi 10,58 liter/jam. Hal ini turut berkontribusi terhadap penurunan fuel ratio dari 0,48 pada kondisi aktual maupun secara teoritis menjadi 0,41. Hal ini menunjukkan bahwa perbaikan geometri jalan secara langsung mempengaruhi fuel ratio.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terimakasih disampaikan kepada semua pihak yang telah membantu baik secara langsung maupun tidak langsung. Penulis berharap semoga jurnal ini dapat memberikan kontribusi positif bagi pengembangan ilmu pengetahuan dan praktik di bidang pertambangan

khususnya geometri jalan angkut.

DAFTAR PUSTAKA

- AASHTO (*American Association of State Highway and Transportation Officials*). (1973). *Manual Rural High Way Design*. Washington DC.
- Adha, H. R., Nurkhamim, Cahyadi, T. A., Kresno, & Inmarlinianto. (2023). Analisis Konsumsi Bahan Bakar Alat Angkut UD Quester CWE 370 dalam Kegiatan Pengangkutan Bijih Nikel. *Indonesian Mining Professionals Journal* Vol. 5 No. 1, 7-20.
- Alan, M., Rianto, D. J., & Oktavia, M. (2021). Evaluasi Kinerja Alat Mekanis Pada Kegiatan Pengupasan Tanah Penutup Di PT. Seluma Prima Coal Kecamatan Mandingin Kabupaten Sarolangun. *Mine Magazine* Vol 2, No 1, 2.
- Anisari, R. (2016). Produktivitas Alat Muat dan Alat Angkut Pada Pengupasan Lapisan Tanah Penutup di Pit 8 Fleet D Pt. Jhonlin Baratama Jobsite Satui Kalimantan Selatan. *INTEKNA Jurnal Informasi Teknik dan Niaga* Vol 16 No 1, 77-81.
- Burt, C. N., & Caccetta, L. (2018). *Equipment Selection for Mining : with Case Studies*. Australia: Springer.
- Cahyadi, R., Perdana, T., & Harsiga, E. (2021). Evaluasi Geometri Jalan Angkut Menggunakan Standar AASHTO Untuk Meningkatkan Produktivitas Alat Angkut Overburden pada Pit 1 PT Benal Aiti Bara Perkasa. *Jurnal Teknik Patra Akademika* Vol. 12 No. 02, 55-64.
- Hustrulid, W., Kuchta, M., & Martin, R. (2013). *Open Pit Mine Planning & Design*. New York: CRC Press.
- Indonesianto, Y. (2014). *Pemindahan Tanah Mekanis*. Yogyakarta: Universitas Pembangunan Nasional "Veteran" Yogyakarta.
- Kaufman, W. W., & Ault, J. C. (1977). *Design of Surface Mine Haulage Roads - A Manual*. USBM IC 8758.
- Klanfar, M., Korman, T., & Kujundzic, T. (2016). *Fuel Consumption and Engine Load Factors of Equipment in Quarrying of Crushed Stone*. *Technical Gazette* 23, 1, 163-169.
- Nabella, M., Zaenal, & Yuliadi. (2016). Analisis Pengaruh Kemiringan Jalan dan Jarak Angkut terhadap Konsumsi Bahan Bakar dan Fuel Ratio pada Kegiatan Penambangan Batuan Andesit di PT Gunung Sampurna Makmur, Desa Rengasjajar Kecamatan Cigudeg, Kabupaten Bogor, Jawa Barat. *Prosiding Teknik Pertambangan*, 237-244.
- Oemiati, N., Revisdah, & Rahmawati. (2020). Analisa Prooduktivitas Alat Gali Muat dan Alat Angkut pada Pengupasan Lapisan Tanah. *Jurnal Penelitian dan Kajian Teknik Sipil* Vol 6 No 3.
- Peurifoy, R. L., Schexnayder, C. J., & Shapira, A. (2006). *Construction Planning, Equipment, and Methods*.
- Sari, A. S., Cahyono, Y. D., & Sa'adah, Z. (2023). Kajian Efisiensi Konsumsi Bahan Bakar Dumptruck Kamaz 6520 pada Aktivitas Pengangkutan Batubara Pit 2 Banko Barat dari Fleet A1 Menuju Dump Hopper 4 PT Bukit Asam, Tanjung Enim, Sumatera Selatan. *Jurnal Sumberdaya Bumi Berkelanjutan* Vol 1 (No. 2), 553-563.
- Schiess, P., & Whitaker, C. A. (1986). *Road Design and Construction In Sensitive Watersheds*. Rome, Italy.
- Suwandhi, A. (2004). *Perencanaan Jalan Tambang*.
- Tannant, D. D., & Regensburg, B. (2001). *Guidelines for Mine Haul Road Design*. Kelowna, B.C. Canada.
- Thompson, R. J. (2013). *Principles of Mine Haul Road Design and Construction*. Australia.
- Topal, E., & Ramazan, S. (2010). *A new MIP model for mine equipment scheduling by minimizing maintenance cost*. *European Journal of Operational Research* Vol 207, Issue 2, 1065-1071.
- Yusup, D., Purnomo, H., Mohamad, M. A., & Putra, B. P. (2022). Kajian Teknis Geometri Jalan Angkut Tambang Pada Kegiatan Pengupasan Overburden PT Bara Prima Pratama Kabupaten Indragiri Hilir Provinsi Riau. *Prosiding Nasional Rekayasa Teknologi Industri dan Informasi XVII Tahun 2022 (ReTII)*, (pp. 652-663).