

## PERBAIKAN GRADE RESISTANCE DAN ROLLING RESISTANCE TERHADAP FUEL RATIO

### IMPROVEMENT OF GRADE RESISTANCE AND ROLLING RESISTANCE TO FUEL RATIO

Irza Azzahra Putri Hadi<sup>1</sup>, Ahmad Fauzan H<sup>1</sup>, Nurmaya Arofah<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Universitas Islam Negeri Syarif Hidayatullah Jakarta, Indonesia

Email: irzazzahra0103@gmail.com

#### ABSTRAK

PT Antareja Mahada Makmur Jobsite MHU berlokasi di Loa Kulu, Kutai Kartanegara, Kalimantan Timur. Berdasarkan penelitian di lapangan terdapat banyak segmen jalan yang memiliki *grade* yang tinggi dan *rolling resistance* yang besar, sehingga produktivitas dan konsumsi bahan bakar tidak optimal. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk memperbaiki geometri serta kondisi jalan angkut agar produktivitas dan konsumsi bahan bakar lebih optimal, serta mengetahui pengaruh geometri dan kondisi jalan angkut terhadap produktivitas dan konsumsi bahan bakar *hauler*. Penelitian ini menggunakan metode analisis kuantitatif, data primer yang diambil adalah *cycle time hauler*, geometri jalan angkut, uji menggunakan *Dynamic Cone Penetrometer*, dan data amblesan. Perhitungan produktivitas alat angkut dihitung dengan mengetahui berapa lama siklus dari alat angkut, sedangkan perhitungan konsumsi bahan bakar dilakukan menggunakan parameter *load factor* dengan pendekatan *Rimpull*. Produktivitas alat angkut pada lokasi penelitian sebesar 102.33 BCM/jam dan konsumsi bahan bakar alat angkut sebesar 70.3 liter/jam. Setelah dilakukan perbaikan yaitu membuat jalan Integritas baru dengan lebar jalan sesuai standar (30 meter) dan *grade* lebih landai, serta *rolling resistance* < 2%. Produktivitas alat angkut menjadi bertambah dan konsumsi bahan bakar menurun. Berdasarkan perhitungan produktivitas alat angkut setelah perbaikan menjadi 111.2 BCM/jam dan konsumsi bahan bakar *hauler* menjadi 59.4 BCM/jam. Hal tersebut membuat *fuel ratio* alat angkut juga ikut menurun yaitu menjadi 0.53 L/BCM.

**Kata kunci:** *Grade Resistance*, konsumsi bahan bakar, produktivitas, *Rimpull*, *Rolling Resistance*.

**DOI:** 10.15408/jipl.v2i2.28299

#### ABSTRACT

PT Antareja Mahada Makmur Jobsite MHU is located in Loa Kulu, Kutai Kartanegara, East Kalimantan. Based on research in the field, there are many road segments that have high grade and high rolling resistance, so productivity and fuel consumption are not optimal. The purpose of this study is to improve the geometry and condition of haul roads so that productivity and fuel consumption are more optimal, and to determine the effect of geometry and haul road conditions on hauler productivity and fuel consumption. This research uses quantitative analysis method, primary data taken is cycle time hauler, haul road geometry, test using Dynamic Cone Penetrometer, and subsidence data. The calculation of the productivity of the conveyance is calculated by knowing how long the cycle of the conveyance is, while the calculation of fuel consumption is carried out using the load factor parameter with the Rimpull approach. The productivity of transportation equipment at the research site is 102.33 BCM/hour and fuel consumption of transportation equipment is 70.3 liters/hour. After repairs have been made, namely making a new Integrity road with a road width according to the standard (30 meters) and a gentler grade, and rolling resistance < 2%. Productivity of conveyances increases and fuel consumption decreases. Based on the calculation of the productivity of the conveyance after the repair it becomes 111.2 BCM/hour and the fuel consumption of the hauler becomes 59.4 BCM/hour. This causes the fuel ratio of the conveyance to also decrease to 0.53 L/BCM.

**Keywords:** *Fuel consumption*, *Grade Resistance*, *Productivity*, *Rimpull*, *Rolling Resistance*.

## PENDAHULUAN

Pada metode penambangan terbuka, salah satu kegiatannya yaitu pengangkutan lapisan penutup, yaitu material yang terdapat di permukaan dan sifatnya dapat dikatakan lepas. Lapisan penutup terdiri dari tiga jenis material yaitu, material *top soil*, *common rock*, dan *rock* (Tenriajeng, 2003). Jumlah lapisan penutup yang dipindahkan dan laju penggaliannya berhubungan dengan produktivitas bahan galian yang dibutuhkan, serta efektivitas proses pembuangan di lokasi atau di luar lokasi, yang prinsipnya harus menjadi metode yang paling hemat biaya dan secara teknis masuk akal (Oggeri et al., 2019).

Sistem pengangkutan harus dirancang seefisien mungkin, untuk meminimalkan biaya pengangkutan, meningkatkan probabilitas dan meningkatkan nilai total tambang (Soofastaei et al., 2016). Penentu keberhasilan metode penambangan terbuka adalah seberapa besar produktivitas peralatan mekanis dapat dimanfaatkan seefektif dan seefisien mungkin agar hasil yang diperoleh maksimal sesuai dengan target perusahaan (Himawan et al., 2020).

Geometri jalan merupakan faktor utama yang berkaitan langsung dengan produktivitas dari alat angkut, apabila geometri jalan tidak sesuai dengan standar dan kondisi jalan yang kurang baik, maka akan berpengaruh pada *cycle time* yang lebih lama, sehingga menurunkan produktivitas dan meningkatkan penggunaan bahan bakar (Anaperta & Ikmal, 2018). Terdapat beberapa faktor hambatan yang mempengaruhi hal tersebut, yaitu *Rolling Resistance* (RR) dan *Grade Resistance* (GR). Maka dilakukan analisis pengaruh *Rolling Resistance* (RR) dan *Grade Resistance* (GR) terhadap produktivitas dan konsumsi bahan bakar alat angkut.

Pada penelitian yang telah dilakukan sebelumnya oleh (Desandra, 2018) menjelaskan bahwa untuk meningkatkan produktivitas alat angkut dapat dilakukan dengan cara memperbaiki *rolling resistnace*. Pada kajian tersebut tidak dilakukan pengujian perkerasan jalan dengan menggunakan *Dynamic Cone Penetrometer* (DCP) untuk mengevaluasi propertis dari lapisan perkerasan maupun lapisan permukaan *soils*. Sedangkan pada penelitian ini dilakukan pengujian perkerasan jalan menggunakan DCP untuk mengetahui nilai CBR (*California Bearing Ratio*) agar jalan sesuai dengan standar perkerasan jalan sehingga dapat maksimal dalam menopang beban kendaraan yang melintas.

Ada beberapa faktor yang harus dipenuhi, yaitu geometri jalan, kedalaman amblasan, dan *cycle time* alat angkut. Faktor-faktor tersebut dapat dipenuhi dengan melakukan pengamatan di lokasi penelitian. Dalam penelitian ini perhitungan produktivitas alat angkut dihitung dengan mengetahui berapa lama siklus dari alat angkut tersebut, waktu siklus didapat dengan menjumlahkan seluruh elemen gerakan dari dimuati, berjalan, *dumping* dan balik ke posisi dimuati (Sokop et al., 2018), sedangkan perhitungan konsumsi bahan bakar dilakukan menggunakan parameter *load factor* dengan pendekatan *Rimpull*. Pada pengolahan geometri jalan dan pembuatan design jalan dilakukan dengan menggunakan bantuan perangkat lunak, sedangkan untuk simulasi waktu per segment dan kecepatan alat angkut dilakukan menggunakan *software TALPAC*, sehingga akan dihasilkan perbaikan produktivitas serta konsumsi bahan bakar yang lebih optimal.

Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui hasil produktivitas alat angkut HD 785 serta mengetahui konsumsi bahan bakar dan *fuel ratio* alat angkut HD 785 dan merekomendasikan kepada perusahaan untuk mengoptimalkan *fuel ratio* alat angkut untuk mencapai target produksi dan lebih menguntungkan perusahaan.

## METODE PENELITIAN

Penelitian ini dilakukan pada bulan Maret – Mei 2022 di Pit Selatan *Seam 90* Blok 46 PT Antareja Mahada Makmur site PT Multi Harapan Utama. Daerah pertambangannya berlokasi di Provinsi Kalimantan Timur, Kabupaten Kutai Kartanegara. Tahapan awal penelitian dilakukan dengan melakukan studi literatur yang berhubungan dengan topik penelitian.

Setelah itu, dilakukan pengambilan data primer di lapangan berupa geometri jalan yang diambil menggunakan GPS *Geodetic*, *cycle time* alat angkut menggunakan *stopwatch handphone*, uji daya dukung tanah dengan menggunakan alat *Dynamic Cone Penetrometer* (DCP), data amblasan menggunakan penggaris dan pengujian laboratorium material pembentuk jalan.

Setelah didapatkan seluruh data yang dibutuhkan, selanjutnya adalah melakukan analisis pengaruh *grade resistance* dan *rolling resistance* terhadap produktivitas dan konsumsi bahan bakar *hauler*. Pengolahan data yang dilakukan adalah perhitungan standar minimum lebar jalan angkut menggunakan Persamaan

(1) untuk lebar jalan angkut lurus, lebar jalan minimum pada jalan lurus dengan lajur ganda atau lebih, menurut AASHTO *Manual Rural High Way Design*, harus ditambah dengan setengah lebar alat angkut pada bagian tepi kiri dan kanan jalan (AASHTO, 2001).

$$L_{\min} = n \cdot Wt + (n + 1) \left( \frac{1}{2} \cdot Wt \right) \quad (1)$$

Keterangan :

$L_{\min}$  = lebar jalan angkut minimum, m

$n$  = jumlah lajur

$Wt$  = lebar alat angkut, m

Untuk menghitung lebar jalan angkut tikungan menggunakan Persamaan (2), dengan parameter jumlah jalur yang ada di lapangan dan lebar alat angkut terbesar yang melewati jalan angkut berdasarkan *handbook* Komatsu HD 785 (Abe, 2006). Perhitungan ini dilakukan untuk penetapan standar lebar jalan angkut pada pembuatan jalan angkut yang ideal, sesuai dengan kondisi yang ada di lapangan. Lebar jalan angkut pada belokan atau tikungan selalu lebih besar dari pada jalan lurus. Untuk lajur ganda, maka lebar jalan minimum pada belokan didasarkan atas lebar jejak ban, lebar jantai depan dan belakang, jarak antar kendaraan dan jarak dari kedua tepi jalan (Suwandhi, 2004).

$$W_{\min} = 2(U + Fa + Fb + Z) + C \quad (2)$$

Keterangan :

$W_{\min}$  = lebar jalan angkut minimum pada belokan, m

$U$  = lebar jejak roda (*center to center tires*), m

$Fa$  = lebar jantai (*overhang*) depan, m

$Fb$  = lebar jantai belakang, m

$Z$  = lebar bagian tepi jalan, m

$C$  = jarak antar kendaraan (*total lateral clearance*), m

Pembuatan geometri jalan angkut dilakukan menggunakan *software SURPAC 6.6.2* dengan cara mengolah data koordinat yang telah didapatkan pada saat pengambilan data di lapangan menggunakan *GPS Geodetic*, lalu selanjutnya titik koordinat tersebut disambungkan menggunakan *tools create new point* pada *software SURPAC 6.6.2* hingga membentuk jalan sesuai dengan keadaan di lapangan, selanjutnya dilakukan pengukuran geometri jalan angkut dengan membagi beberapa segmen pada *software* tersebut menggunakan *tools inquire*.

Untuk mengetahui kondisi jalan angkut, pada penelitian ini kondisi jalan angkut digambarkan oleh nilai *rolling resistance* (Indonesianto, 2005), nilai  $RR$  dihitung dengan Persamaan (3) berdasarkan data amblesan yang telah diambil pada saat di lapangan. Nilai *Grade resistance* dihitung menggunakan Persamaan (4) berdasarkan nilai *grade* yang telah didapatkan pada hasil pengolahan evaluasi geometri jalan angkut. Jika jalur jalan itu naik disebut kemiringan positif, Tahanan kemiringan atau *Grade Resistance (GR)* akan melawan gerak kendaraan, tetapi sebaliknya, jika jalan itu turun disebut kemiringan negatif, tahanan kemiringan akan membantu gerak kendaraan (Prodjosumarto, 1996).

Selain itu untuk mengetahui nilai daya dukung tanah dari hasil pengujian DCP diperlukan nilai  $CBR$  (*California Bearing Ratio*). Hubungan nilai DCP dan  $CBR$  menurut (Wabster, 1994) dihitung menggunakan Persamaan (5). Semakin tinggi nilai  $CBR$ , menunjukkan kondisi tanah dasar semakin baik. Jika tanah asli mempunyai daya dukung yang rendah, maka jalan akan cepat mengalami kerusakan (Barnas & Karoeboka, 2015).

$$RR = \frac{W \text{ total}}{\text{Berat isi (ton)}} \quad (3)$$

Keterangan :

W : Berat kendaraan muatan ataupun kosongan (lb/ban)

W total : RR total satu kendaraan (lb)

a : Amblasan (inch)

r : jari-jari ban (inch)

RR : *Rolling Resistance* (lb/ton)

$$\text{Grade Resistance} = 20 \text{ lb/ton} \times \text{grade (\%)} \times W \quad (4)$$

Keterangan :

Grade (%) : Kemiringan jalan angkut dalam persen

W : Berat kendaraan (ton)

$$CBR = \frac{292}{PI^{1.12}} \quad (5)$$

Keterangan :

CBR = Nilai *California Bearing Ratio* (%)

PI = Nilai DCP (mm/blow)

Simulasi *speed* dilakukan dengan menggunakan *software TALPAC* dengan cara menginput beberapa parameter, yaitu material, *roster*, *haul cycle*, *loading unit*, dan *truck*. Setelah seluruh parameter dimasukkan, maka *software TALPAC* akan mengkalkulasi sehingga *speed* maupun *cycle time* dapat dilihat pada hasil *calculate* tersebut.

Setelah simulasi *speed* dan *cycle time* dilakukan maka selanjutnya dilakukan perhitungan produktivitas dan konsumsi bahan bakar. Untuk perhitungan produktivitas dihitung menggunakan Persamaan (6). Perhitungan konsumsi bahan bakar dilakukan dengan menggunakan Persamaan (7) berdasarkan parameter *load factor* yang dapat dihitung menggunakan Persamaan (8) dengan pendekatan *Rimpull* yang dihitung menggunakan Persamaan (9).

$$\text{Produktivitas} = \left( \frac{3600}{\text{Cycle Time}} \right) \times \text{Eff} \times \text{SF} \times \text{KV} \quad (6)$$

Keterangan :

Eff = Effisiensi Kerja Alat (%)

SF = *Swell Factor* (%)

KV = Kapasitas *Vessel* (BCM)

$$\text{Fuel Consumption} = \frac{\text{weight of fuel used} \times \text{Brake HP} \times \text{load factor}}{\text{weight of fuel per gallon}} \quad (7)$$

Dimana :

*Fuel Consumption* (gal/h) = Konsumsi bahan bakar *hauler*

*Weight of fuel used* = Berat bahan bakar yang digunakan oleh *hauler*

Brake HP = Daya mesin, kW

*Load Factor* = Berat Kerja alat

*Weight of fuel/gallon* = Densitas bahan bakar (solar)

$$\text{Load Factor} = \frac{\text{Rimpull yang terpakai}}{\text{Rimpull yang dipakai alat}} \tag{8}$$

$$\text{Rimpull} = \frac{375 \times \text{HP} \times \text{eff}}{\text{Speed (mph)}} \tag{9}$$

Keterangan :

HP : Daya Mesin (HP)

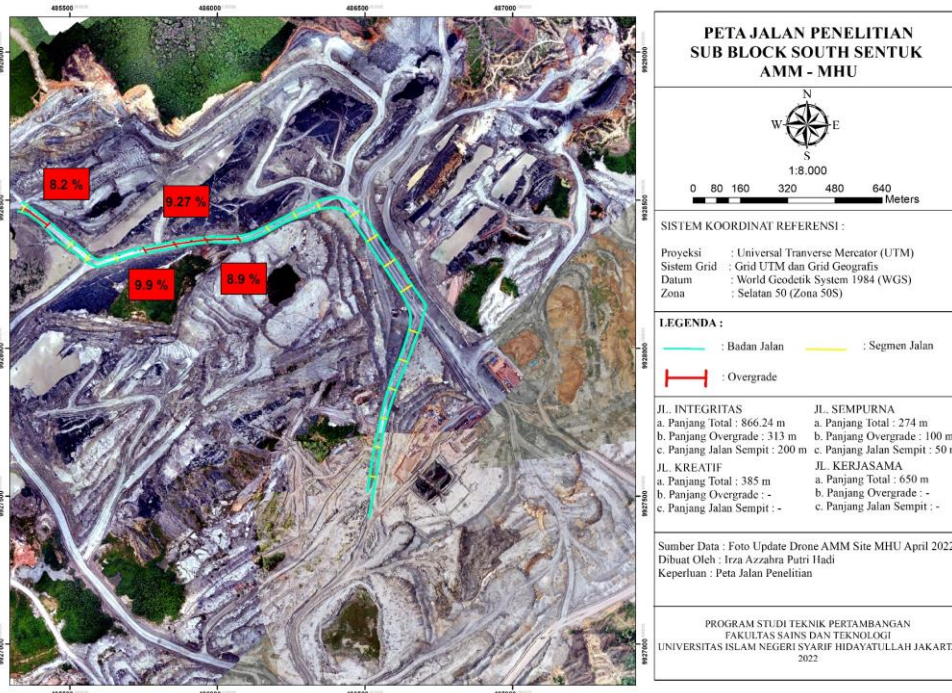
Speed : Kecepatan (mph)

Dari hasil produktivitas dan konsumsi bahan bakar yang telah didapatkan maka selanjutnya adalah dilakukan perhitungan *fuel ratio* untuk mengetahui perbandingan antara penggunaan bahan bakar (liter/jam) dengan produktivitas (bcm/jam). Perhitungan *fuel ratio* tersebut dapat dihitung menggunakan Persamaan (10).

$$\text{Fuel Ratio} = \frac{\text{Konsumsi Bahan Bakar} (\frac{L}{\text{Jam}})}{\text{Produktivitas (BCM/Jam)}} \tag{10}$$

### HASIL DAN PEMBAHASAN

Penelitian ini dilakukan di Kecamatan Loa Kulu, Kabupaten Kutai Kartanegara, Provinsi Kalimantan Timur. Lebih tepatnya pada Pit Selatan *Seam* 90 Blok 46, pada satu rute jalan dari *loading point* menuju *disposal* meliputi 4 (empat) jalan, yaitu jalan sempurna, jalan integritas, jalan kreatif dan jalan kerjasama, lokasi penelitian dapat dilihat pada Gambar 1. Total panjang jalan keseluruhan adalah 2.300 m. Lebar jalan pada rute perjalanan ini masih banyak yang belum memenuhi standar dimana standar lebar jalan HD yang telah ditetapkan perusahaan adalah 30 m. Sedangkan standar kemiringan jalan yang ditetapkan perusahaan adalah 8%, dari hasil evaluasi dilapangan terdapat *overgrade* pada jalan Sempurna dan Integritas. Total panjang jalan penyempitan yang terdapat pada satu rute jalan dari *loading point* menuju *disposal* adalah 1348.19 meter. Sehingga perlu dilakukan pelebaran jalan pada beberapa segmen agar *hauler* dapat leluasa dalam berkendara pada saat proses pengangkutan. Segmen jalan yang memiliki *grade* lebih dari 8% ada pada jalan Sempurna dan jalan Integritas. Pada jalan Sempurna terdapat *overgrade* yaitu sebesar 8.2%, sedangkan pada jalan Integritas terdapat tiga *overgrade* yaitu sebesar 9.9%, 9.27% dan 8.9%. Total jalan *overgrade* pada satu rute jalan angkut tersebut adalah 413 meter.



Gambar 1. Peta Lokasi Penelitian

Berdasarkan dari permasalahan yang telah dijabarkan pada paragraf sebelumnya, hal tersebut disebabkan karena kurangnya maintenance pada jalan angkut. Penyempitan diakibatkan karena adanya *spoil* yang menumpuk pada sisi jalan, dan juga banyak amblasan pada badan jalan. Hal tersebut menjadi hambatan pada jalan angkut, sehingga hambatan ini dapat menyebabkan banyaknya energi yang hilang, karena semakin tinggi nilai *Rolling Resistance* dan *Grade Resistance* energi yang dibutuhkan akan semakin tinggi, dan beban kerja alat akan semakin besar (Nurrochman, 2019).

Tahapan selanjutnya yaitu dilakukan perhitungan nilai *Rolling Resistance* menggunakan Persamaan 2.3, dimana besaran nilai *Rolling Resistance* pada jalan angkut dapat mengurangi rimpul yang terpakai pada mesin setiap *gear* nya (Hustrulid et al., 2013). Maka dari itu dihitung nilai *Rolling Resistance* pada setiap segmen nya, nilai RR dapat dilihat pada Tabel 2, terdapat beberapa segmen jalan yang memiliki nilai *Rolling Resistance* lebih dari 2%.

Tabel 1. *Rolling Resistance*

No	Segment Jalan	Amblasan (inch)	RR Total (lb/ton)	20 lb = 1% 20
1	SL 1	0.5	20.73	1.04
2	SL2	1.97	81.67	4.08
3	SL 3	0.1	4.15	0.21
4	SL 4	0.98	40.63	2.03
5	SL 5	0.98	40.63	2.03
6	SL 6	1.57	65.09	3.25
7	SL 7	1.37	56.79	2.84
8	SL 8	2	82.91	4.15
9	ST 1	0.7	29.02	1.45
10	SL 9	1.8	74.62	3.73
11	SL 10	1	41.46	2.07
12	SL 11	0.197	8.17	0.41
13	SL 12	0.197	8.17	0.41
14	SL 13	0.197	8.17	0.41
15	SL 14	0.197	8.17	0.41
16	ST 2	2	82.91	4.15
17	SL 15	2.5	103.64	5.18
18	SL 16	1.9	78.77	3.94
19	SL 17	2	82.91	4.15
20	SL 18	1	41.46	2.07
21	SL 19	2	82.91	4.15
22	SL 20	2	82.91	4.15
Ket :	SL	: Segmen Jalan Lurus		
	ST	: Segmen Jalan Tikungan		

Selanjutnya perhitungan *Grade Resistance* juga dilakukan. Jika kendaraan bergerak menaiki tanjakan, diperlukan tambahan tenaga untuk mengatasi *Grade Resistance*, tetapi jika kendaraan bergerak menuruni tanjakan, tenaga mesin pada roda ditambah oleh adanya *Grade Resistance* ini. Maka dari itu dalam hal ini *tractive effort* dibutuhkan untuk mendorong truk menanjak dengan kecepatan konstan (Hustrulid et al., 2013). Semakin besar nilai GR akan memperlambat *speed* suatu kendaraan maka dari itu *cycle time* alat angkut akan semakin besar. Besarnya *Grade Resistance* adalah 20 lbs/ton %. Artinya setiap persen tanjakan diperlukan *Rimpull* sebesar 20 lbs setiap ton berat kendaraan. Dari perhitungan

yang telah dilakukan berdasarkan data kemiringan jalan angkut aktual, terdapat empat segmen jalan yang memiliki nilai hambatan (*grade resistance*) yang tinggi.

Tahapan selanjutnya yaitu perhitungan *cycle time* aktual, salah satu faktor yang mempengaruhi besarnya *cycle time* adalah *travel time* dimana hal tersebut erat kaitannya dengan *speed* alat angkut. Standar Parameter yang telah diatur oleh perusahaan standar minimum *speed* pada jalan *hauling* minimal adalah 22 km/jam, sedangkan dari hasil pengamatan diketahui aktualnya rata-rata *speed hauler* tidak mencapai standar minimum yang telah ditentukan, yaitu hanya sebesar 21.05 km/jam. Dengan *speed* tersebut berdasarkan pengamatan di lapangan didapatkan waktu *travel* alat angkut, yaitu pada keadaan aktual waktu yang dibutuhkan *hauler* untuk *travel* dari *front* menuju *disposal* dan dari *disposal* menuju *front* adalah 15.52 menit. Waktu *travel* ini yang akan menjadi nilai acuan saat dilakukan perbaikan, apakah setelah dilakukan perbaikan hasil waktu *travel* akan menurun atau tidak.

Produktivitas diperhitungkan dengan acuan *cycle time* yang didapat pada saat melakukan pengamatan di lapangan, *cycle time* alat angkut yang didapat terdiri dari waktu *loading*, *travelling* muatan, *spot at dump*, *dumping*, *travelling* kosong dan *spot at load*. Perhitungan produktivitas dilakukan menggunakan persamaan (6) yaitu didapatkan hasil produktivitas *hauler* sebesar 102.32 BCM/jam.

Lalu selanjutnya dilakukan perhitungan konsumsi bahan bakar aktual, Perhitungan ini menggunakan rimpul yang digunakan pada mesin dibanding dengan rimpul yang tersedia. Rimpul yang digunakan pada alat angkut berbanding lurus dengan *grade resistance* dan *rolling resistance* yang ada pada jalan angkut. Selain itu juga menggunakan parameter Horsepower pada mesin HD 785 dan *Load Factor*. Konsumsi bahan bakar pada saat *loading* dan *dumping* didapatkan dari data perusahaan dengan pendekatan *cycle time*, dimana standar konsumsi bahan bakar kategori rendah yaitu pada saat alat angkut *loading* dan *dumping* adalah 50 liter/jam.

Berdasarkan pengamatan di lapangan, alat angkut memerlukan waktu *loading* dan *dumping* rata-rata 8.7 menit, sehingga konsumsi bahan bakar pada saat *loading* dan *dumping* adalah sebesar 9.1 liter/jam. Data yang didapatkan dari perusahaan yaitu nilai parameter untuk perhitungan kebutuhan bahan bakar solar yaitu BBM yang masuk ke mesin sebesar 1.28 lb/kw.hr dan densitas BBM sebesar 7.3 lb/galon. Dari perhitungan yang dilakukan menggunakan Persamaan 2.7 didapatkan hasil konsumsi bahan bakar alat angkut bermuatan sebesar 78.83 L/jam, sedangkan pada alat angkut kosong sebesar 61.78 L/jam.

Pada satu kali *ritase* waktu alat angkut dalam keadaan bermuatan berdasarkan data *cycle time* yang telah diambil di lokasi penelitian adalah 629.34 detik yang terdiri dari *travel* muatan, *spot at dump* dan *dumping*. Sedangkan dalam keadaan kosong waktu yang dibutuhkan adalah 384.85 detik yang terdiri dari *travel* kosong dan *spot at load*. Selain itu pengaruh *idle* yaitu pada saat *loading* dan antri juga berpengaruh pada penambahan konsumsi bahan bakar, dimana rata-rata waktu *idle* sebesar 221.97 detik. Sehingga dari acuan waktu keadaan bermuatan, kosong dan *idle*, konsumsi bahan bakar selama satu jam dapat dihitung yaitu konsumsi bahan bakar bermuatan sebesar 41.3 liter/jam, konsumsi bahan bakar kosong sebesar 19.8 liter/jam dan konsumsi bahan bakar *idle* sebesar 9.1 liter/jam sehingga total konsumsi bahan bakar selama satu jam adalah 70.3 liter/jam.

Tabel 2. Konsumsi Bahan Bakar Aktual

<i>Fuel Consumption</i> Selama 1 Jam			Total <i>Fuel</i> (L/jam)
<i>Fuel</i> Muatan (L/jam)	<i>Fuel</i> Kosongan (L/jam)	<i>Fuel Idle</i> (L/jam)	
41.3	19.8	9.1	70.3

Kemudian dilakukan perbaikan jalan angkut yaitu dengan membuat jalan Integritas baru dengan lebar jalan sesuai dengan standar yaitu 30 m dan *grade* yang lebih landai. Selain itu juga dilakukan pengujian nilai daya dukung tanah menggunakan DCP untuk mendapatkan nilai CBR sebelum jalan angkut digunakan, hal tersebut dilakukan agar jalan angkut dapat menopang beban kendaraan yang akan melintas dengan maksimal. *Design* struktural jalan mengacu pada penentuan ketebalan berbagai lapisan jalan angkut, kombinasi khusus bahan struktural dan konfigurasi beban. *Design* geometrik jalan angkut mengacu pada dimensi fisik, seperti lebar dan kemiringan jalan (Nurić & Nurić, 2019).

Tabel 3. Geometri Jalan Angkut Perbaikan

Segmen Jalan	Keterangan	Panjang (m)	Lebar Jalan (m)	Grade (%)	RR %
SL 1	SEGMENT	102	30	-8.2	1.04
SL 2	JALAN	100	30	-3.9	4.08
ST 1	SEMPURNA	101	30	-1.8	0.21
SL 3		101	30	4.7	0.83
SL 4		96	30	5	1.66
SL 5		100	30	5	0.83
SL 6	SEGMENT	100	30	4.9	0.41
SL 7	JALAN	100	30	5	0.62
SL 8	INTEGRITAS	99	30	7.8	0.21
SL 9		100	30	8.4	0.83
ST 2		100	30	8.9	0.41
SL 10		100	30	6	0.41
SL 11		100	30	6	0.41
ST 3	SEGMENT	102	30	6.1	0.41
SL 12	JALAN	101	30	6.1	0.41
SL 13	KREATIF	100	30	6	0.41
ST 4		100	30	5.8	0.41
ST 5		100	30	1.7	4.15
SL 14		100	30	0.5	5.18
SL 15	SEGMENT	98	30	1.2	3.94
SL 16	JALAN	101	30	1.3	4.15
SL 17	WATERFILL	100	30	3.1	2.07
SL 18		100	30	4.5	4.15
SL 19		64	30	4.5	4.15

Ket.: SL : Segmen Jalan Lurus  
ST : Segmen Jalan Tikungan

Selanjutnya yaitu dilakukan uji perkerasan jalan menggunakan *Dynamic Cone Penetrometer (DCP)*. Jalan angkut seringkali tidak beraspal dan dibangun dari bahan dengan kualitas beragam, karena jalan ini tidak hanya mengacu pada volume lalu lintas yang bervariasi, tetapi juga digunakan oleh jenis kendaraan yang mencakup berbagai karakteristik dan muatan yang berbeda (Heyns et al., 2012). Maka dari itu jalan angkut harus memenuhi standar perkerasan jalan agar dapat menopang beban kendaraan dengan maksimal.

Menurut penelitian yang dilakukan di Australia oleh (Coffey et al., 2018), besar *Rolling Resistance* salah satunya dipengaruhi oleh kekerasan jalan, maka dari itu pengujian DCP dilakukan untuk mengevaluasi propertis dari lapisan perkerasan maupun *lapisan permukaan soils*. Dari pengujian ini data yang didapatkan adalah kedalaman penetrasi dari alat DCP, pembacaan kedalaman penetrasi dilakukan setiap 10 kali pukulan sampai kedalaman penetrasi kurang lebih 200 mm, karena pada penelitian ini diinginkan untuk menganalisis perkerasan pada *surface course* dari jalan angkut. Berikut dapat dilihat hasil nilai CBR pada jalan Integritas baru pada Tabel 4.

Tabel 4. Nilai CBR

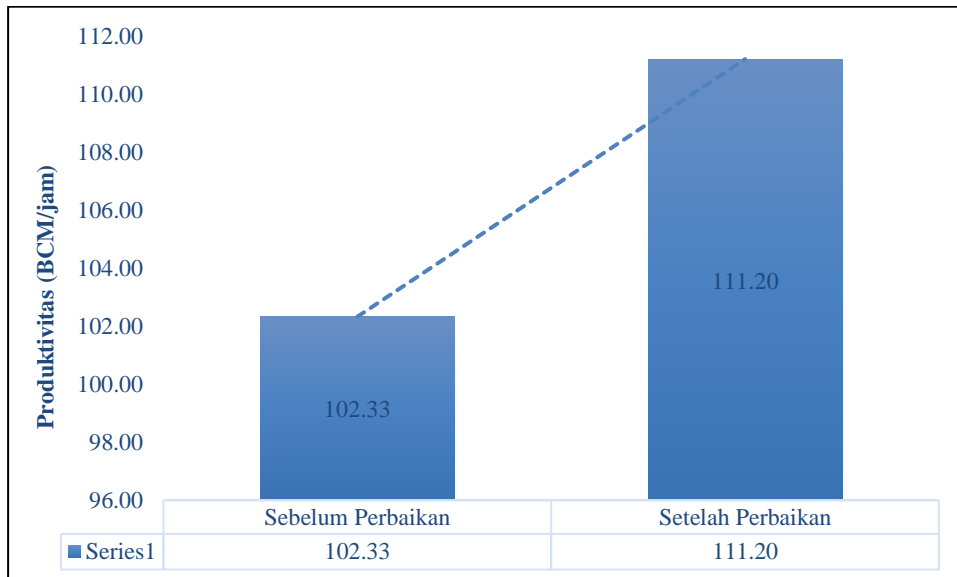
Nilai CBR Jalan Integritas Baru			
Tgl 22 April 2022			
No.	Bagian Jalan	Rata-Rata CBR	Keterangan
1	Muatan	61.6	Memenuhi
2	Kosongan	50	Memenuhi
3	Kosongan	85	Memenuhi
4	Muatan	65	Memenuhi
5	Muatan	60	Memenuhi
6	Kosongan	35	Tidak Memenuhi
7	Kosongan	67.5	Memenuhi
8	Muatan	91.6	Memenuhi
9	Muatan	57.5	Memenuhi
10	Kosongan	41.6	Memenuhi
11	Kosongan	36.6	Memenuhi
12	Muatan	70	Memenuhi
13	Muatan	60	Memenuhi
14	Muatan	50	Memenuhi



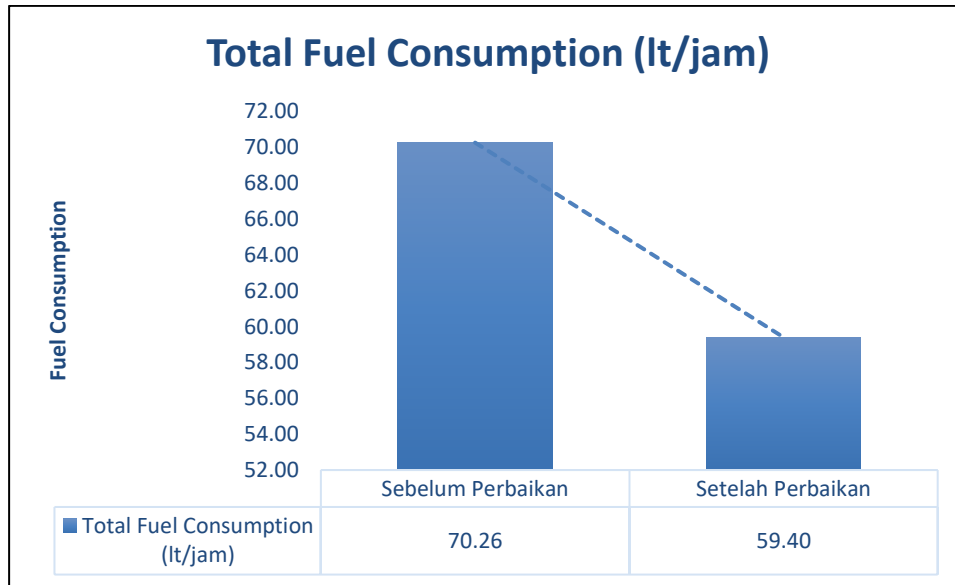
Standar nilai CBR yang ditetapkan oleh perusahaan adalah 36%, setiap perusahaan biasanya memiliki standar nilai CBR yang berbeda karena beban kendaraan yang melintasi jalan angkut berbeda. Dari Tabel 4, dapat diketahui bahwa nilai CBR pada jalan Integritas baru sudah memenuhi standar, yaitu memiliki nilai CBR lebih dari 36%. Maka dari itu dapat disimpulkan bahwa jalan Integritas baru sudah memenuhi standar perkerasan jalan. Dimana terjadi penurunan nilai *rolling resistance* pada saat sebelum perbaikan dan setelah perbaikan. Pada sebelum perbaikan nilai RR jalan Integritas lebih dari 2% namun pada jalan Integritas baru nilai RR kurang dari 2%.

Salah satu upaya untuk meningkatkan nilai CBR yaitu dengan dilakukannya pemadatan, dimana pemadatan jalan dilakukan agar jalan lebih padat dan meningkatkan perkerasan jalan, sehingga jalan yang dilalui oleh *hauler* tidak bergelombang dan tidak terjadi amblasan yang diakibatkan oleh adanya *tractive effort* (Pratama, 2021).

Kemudian untuk mengevaluasi nilai produktivitas dan konsumsi bahan bakar *hauler* maka dilakukan perbandingan produktivitas dan konsumsi bahan bakar *hauler* sebelum dan sesudah perbaikan. Produktivitas sebelum perbaikan yaitu 102.33 BCM/jam sedangkan setelah perbaikan menjadi 111.20 BCM/jam. Konsumsi bahan bakar *hauler* sebelum perbaikan yaitu sebesar 70.3 L/jam sedangkan setelah perbaikan yaitu sebesar 50.9 L/jam. Maka dari hasil perbaikan geometri maupun kondisi jalan angkut, terdapat penurunan *fuel ratio* pada kegiatan pengangkutan yaitu pada sebelum perbaikan *fuel ratio* alat angkut sebesar 0.69 liter/BCM menjadi 0.53 liter/BCM, dimana nilai tersebut jauh lebih optimal dari nilai *fuel ratio* aktual.



Gambar 2. Diagram Perbandingan Produktivitas *Hauler*



Gambar 3. Diagram Perbandingan Konsumsi Bahan Bakar *Hauler*

Tabel 5. *Fuel Ratio*

Keterangan	Produktivitas (BCM/Jam)	Fuel Consumption (Liter/Jam)	Fuel Ratio (Liter/BCM)
Sebelum Perbaikan	102.33	70.30	0.69
Setelah Perbaikan	111.20	59.40	0.53

**SIMPULAN**

Berdasarkan hasil dan pembahasan diatas maka dapat diambil kesimpulan sebagai berikut :

1. Pada penelitian ini terdapat overgrade pada jalan Sempurna sebesar 8.2% dan pada jalan Integritas sebesar 9.9%, 9.27% dan 8.9%, sehingga total panjang overgrade adalah 413 meter. Penyempitan yang terjadi pada satu rute jalan angkut dari *loading point* menuju *disposal* adalah sepanjang 1348.19 meter.
2. *Grade* dan *rolling resistance* yang tinggi pada jalan angkut menyebabkan berkurangnya kemampuan *speed* alat angkut, sehingga *travel time* alat angkut menjadi lebih lama, maka dari itu *cycle time* alat angkut bertambah. Selain itu semakin tinggi nilai *grade resistance* dan *rolling resistance* juga menyebabkan penggunaan rimpul pada alat angkut semakin besar, maka dari itu *load factor* alat angkut menjadi lebih besar. Hal tersebut yang menyebabkan *fuel consumption* alat angkut semakin meningkat.
3. Terdapat peningkatan produktivitas sebesar 8.7%, yaitu 102.33 BCM/jam menjadi 111.2 BCM/jam. Dengan adanya perbaikan pada penelitian ini, maka konsumsi bahan bakar menurun sebesar 15.44%, yaitu dari 70.26 liter/jam menjadi 59.40 liter/jam. Sehingga *fuel ratio* alat angkut menurun, sebelum perbaikan *fuel ratio* sebesar 0.69 L/BCM dan setelah perbaikan *fuel ratio* menjadi 0.53 L/BCM.

**UCAPAN TERIMAKASIH**

Tidak ada habisnya saya ucapkan terima kasih kepada pihak yang telah membantu saya dalam menyelesaikan penelitian ini hingga terciptanya artikel ini. Semoga artikel ini dapat digunakan sebagai acuan dasar untuk melalukan penelitian lebih lanjut agar bisa lebih sempurna.

**DAFTAR PUSTAKA**

- AASHTO. (2001). *A Policy on Geometric Design of Highways and Streets 1990I. AASHTO (1990) A Policy on Geometric Design of Highways and Streets 1990, 7th Editio.*
- Abe, S. (2006). *Komatsu Technical Report Dump Truck Model HD785-7.* 52(158), 1–4.
- Anaperta, Y. M., & Ikmal, M. (2018). Evaluasi Pengaruh Geometri Jalan Angkut Overburden Terhadap Produksi OHT Caterpillar 777D Dari PIT 1 Utara Loading Point CE 7139 Menuju IPD 1 N, PT. Adimitra Baratama Nusantara, Sanga-Sanga, Kutai Kartanegara, Kalimantan Timur. *Jurnal Teknologi Informasi Dan Pendidikan*, 11(2), 1–9.
- Barnas, E., & Karopeboka, B. (2015). Penelitian Kekuatan Tanah Metode CBR (California Bearing Ratio) di SPBG Bogor 1 Bubulak JL KH R Abdullah bin Nuh. *E-Journal Universitas Borobudur*, 91–112.
- Coffey, J., Nikraz, H., & Leek, C. (2018). Haul road rolling resistance and pavement condition. *Australian Journal of Civil Engineering*, 16(1), 12–22.
- Desandra, P. (2018). Pengaruh Perbaikan Rolling Resistance Pada Jalan Angkut Terhadap Estimasi Biaya Produksi Andesit Dengan Simulasi Menggunakan Aplikasi TALPAC 10.2 di PT. Lotus SG Lestari. (Vol. 1, Issue 1).
- Heyns, T., Heyns, P. S., & De Villiers, J. P. (2012). *A method for real-time condition monitoring of haul roads based on Bayesian parameter estimation.* *Journal of Terramechanics*, 49(2), 103–113.
- Himawan, M. A. R., Nurhakim, N., & Annisa, A. (2020). Analisis Optimalisasi Fuel Ratio Peralatan Mekanis Dalam Aktifitas Penggalian Dan Pengangkutan Overburden Pt Madhani Talatah Nusantara. *Jurnal Himasapta*, 4(3), 77–80.
- Hustrulid, W., Kuchta, M., & Martin, R. (2013). *Open Pit Mine Planning & Design 3rd Edition.* Taylor and Francis Group.
- Indonesianto, Y. (2005). *Pemindahan Tanah Mekanis, UPN “Veteran Yogyakarta.”* Yogyakarta.
- Nurić, A., & Nurić, S. (2019). Numerical modeling of transport roads in open pit mines. *Journal of Sustainable Mining*, 18(1), 25–30.
- Nurrochman, B. (2019). *Analisis Konsumsi Bahan Bakar Alat Angkut Komatsu HM 400-3R PADA Pengupasan Overburden Bulan Maret 2019 Tambang Batubara Di PIT GS Jobsite LHI PT. Mitra Indah Lestari, Kota Samarinda, Provinsi Kalimantan Timur.* UPN “Veteran” Yogyakarta.
- Oggeri, C., Fenoglio, T. M., Godio, A., & Vinai, R. (2019). *Overburden management in open pits: options and limits in large limestone quarries.* *International Journal of Mining Science and Technology*, 29(2), 217–228.
- Pratama, O. I. (2021). Geologi Dan Model Konstruksi Jalan Hauling Berdasarkan Hasil Uji DCP (Dynamic Cone Penetrometer) Daerah Banjarsari Dan Sekitarnya, Kecamatan Angsana, Kabupaten Tanah Bumbu, Provinsi Kalimantan Selatan. *Jurnal Ilmiah Geologi PANGEA*, 3(1), 89–100.
- Prodjosumarto, P. (1996). *Pemindahan Tanah Mekanis. Tetrahedron.*
- Sokop, R. M., Arsjad, T. T., & Malingkas, G. (2018). Analisa Perhitungan Produktivitas Alat Berat Gali-Muat (Excavator) Dan Alat Angkut (Dump Truck) Pada Pekerjaan Pematangan Lahan Perumahan Residence Jordan Sea. *Jurnal Tekno*, 16(70), 83–88.
- Soofastaei, A., Aminossadati, S. M., Kizil, M. S., & Knights, P. (2016). A discrete-event model to simulate the effect of truck bunching due to payload variance on cycle time, hauled mine materials and fuel consumption. *International Journal of Mining Science and Technology*, 26(5), 745–752.
- Suwandhi, A. (2004). *Perencanaan Jalan Tambang, Diklat Perencanaan Tambang Terbuka. UNISBA : Bandung.*
- Tenriajeng, A. T. (2003). *Pemindahan Tanah Mekanis. Gunadarma.*
- Wabster, S. L. . (1994). *Description and Application of Dual Mass Dynamic Cone Penetrometer. Minneapolis : USAE Academy.*