Analisis Pengaruh Grade Jalan Angkut Terhadap Konsumsi Bahan Bakar Dump Truck dengan Metode Regresi Linear pada PT. Tambang Mineral Maju, Kabupaten Kolaka Utara, Provinsi Sulawesi Tenggara

Elsen Jingga[1], Yazid Fanani[2]
Insitut Teknologi Adhi Tama Surabaya[1], Insitut Teknologi Adhi Tama Surabaya [2]
e-mail: elsenjingga116@gmail.com[1], yazid.tambang@itats.ac.id[2]

ABSTRACT

This study took place at Tambang Mineral Maju Ltd, in the Batu Putih District of North Kolaka Regency, Southeast Sulawesi, along the 1,172.43-metre haul road operated by the contractor Five Star Indonesia. Fuel costs constitute the largest operational expense in mining, particularly for dump truck haulage, and the haul road gradient (grade) is a significant technical factor influencing these costs. This study evaluates the haul road gradient from the mining face to the stockpile, analyses its effect on fuel consumption using linear regression, and assesses the fuel savings achieved after improving the gradient. This quantitative research utilises simple linear regression in IBM SPSS 27, grounded in vehicle mechanics theory (gradient, rolling, and aerodynamic resistance) and haulage equipment power calculations, in accordance with the KEPMEN-1827 standard. The data on haul road gradients were collected using a Sokkia GRX3 Geodetic GPS, recorded cycle times, and measured daily fuel consumption via a flow meter over a one-month period. The results indicate that the haul road comprises 11 segments. For loaded conditions, the correlation coefficient is R = 0.962 (R^2 = 0.926), yielding the equation Y = 0.152 + 0.0006X. For empty conditions, it is R = 0.965 (R^2 = 0.932), yielding the equation Y = 0.142 − 0.0007X, where X represents the road gradient and Y represents fuel consumption. Following gradient improvements, each dump truck can achieve fuel savings of 0.281 litres per trip, or 175.34 litres per month. In conclusion, the haul road gradient exerts a very strong and significant effect on fuel consumption in laterite nickel mining.

Keywords: *Dump Truck, Haul Road Gradient, Fuel Consumption, Nickel Mining, Linear Regression*

ABSTRAK

Penelitian dilaksanakan di PT. Tambang Mineral Maju, Kecamatan Batu Putih, Kabupaten Kolaka Utara, Sulawesi Tenggara, pada jalan angkut Kontraktor Five Star Indonesia sepanjang 1.172,43 meter. Biaya bahan bakar merupakan komponen operasional terbesar penambangan, khususnya pengangkutan dump truck, dan kemiringan jalan angkut (grade) menjadi faktor teknis signifikan yang mempengaruhinya. Penelitian bertujuan mengevaluasi nilai grade jalan angkut dari front penambangan ke stockpile, menganalisis pengaruhnya terhadap konsumsi bahan bakar dengan regresi linear, serta mengevaluasi penghematan bahan bakar setelah perbaikan grade. Metode yang digunakan bersifat kuantitatif dengan regresi linear sederhana menggunakan IBM SPSS 27, berlandaskan teori mekanika kendaraan (tahanan kemiringan, gulir, aerodinamis) dan perhitungan daya alat angkut merujuk standar KEPMEN-1827. Data diperoleh dari pengukuran grade jalan menggunakan GPS Geodetik Sokkia GRX3, pencatatan cycle time, dan konsumsi bahan bakar harian via flow meter selama satu bulan. Hasil menunjukkan jalan angkut terbagi 11 segmen dan Koefisien korelasi kondisi bermuatan R = 0,962 (R^2 = 0,926) dengan Y = 0,152 + 0,0006X, dan kondisi kosong R = 0,965 (R^2 = 0,932) dengan Y = 0,142 − 0,0007X. Dimana X merupakan kemiringan jalan dan Y merupakan Konsumsi bahan bakar, Setelah perbaikan grade, bahan bakar dapat dihemat 0,281 liter/ritase atau 175,34 liter/bulan per dump truck. Disimpulkan kemiringan jalan angkut berpengaruh sangat kuat dan signifikan terhadap konsumsi bahan bakar pada penambangan nikel laterit.

Kata Kunci: *Dump Truck*, Kemiringan Jalan Angkut, Konsumsi Bahan Bakar, Penambangan Nikel, Regresi Linear.

ISSN 2775-5630

PENDAHULUAN

PT. Tambang Mineral Maju merupakan perusahaan tambang nikel yang beroperasi di Kecamatan Batu Putih, Kabupaten Kolaka Utara, Provinsi Sulawesi Tenggara, dengan bahan galian nikel. Industri pertambangan nikel laterit merupakan salah satu sektor strategis yang memiliki kontribusi signifikan terhadap perekonomian nasional. Dalam kegiatan penambangan terbuka (*open pit mining*), aktivitas pengangkutan (*hauling*) menggunakan dump truck menjadi tahapan yang paling intensif dalam penggunaan bahan bakar. Biaya bahan bakar diketahui merupakan komponen operasional terbesar yang secara langsung memengaruhi total biaya produksi dan profitabilitas perusahaan [1].

Berbagai faktor teknis dan operasional berkontribusi terhadap tingkat konsumsi bahan bakar, di antaranya jarak tempuh, kecepatan kendaraan, kondisi muatan, serta kemiringan jalan angkut (*haul road grade*). [2] mengidentifikasi bahwa jarak dan kemiringan jalan merupakan dua faktor utama yang memengaruhi konsumsi bahan bakar alat angkut tambang. [3] juga menegaskan bahwa variasi *grade* jalan berkorelasi kuat dengan konsumsi bahan bakar, khususnya saat dump truck melintasi jalan menanjak yang meningkatkan beban kerja mesin secara signifikan. Lebih lanjut, [4] menunjukkan bahwa perancangan jalan angkut yang mempertimbangkan elevasi dan kemiringan dapat meningkatkan efisiensi bahan bakar secara nyata.

Kemiringan jalan merupakan variabel teknis yang dapat dikendalikan melalui perencanaan dan perbaikan geometri jalan, sehingga menjadi fokus yang relevan untuk dianalisis lebih mendalam. Pengelolaan *grade* jalan angkut harus merujuk pada standar teknis yang berlaku, yaitu Kepmen ESDM No. 1827K/30/MEM/2018 tentang kaidah teknik pertambangan yang baik [5].

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh kemiringan jalan angkut terhadap konsumsi bahan bakar dump truck di PT. Tambang Mineral Maju, Kecamatan Batu Putih, Kabupaten Kolaka Utara, Sulawesi Tenggara, menggunakan metode regresi linear sederhana. Hasil penelitian diharapkan dapat memberikan rekomendasi teknis dalam rangka optimasi konsumsi bahan bakar pada operasi penambangan nikel laterit.

TINJAUAN PUSTAKA

Kemiringan jalan

Kemiringan jalan merupakan perbandingan antara beda tinggi terhadap jarak horizontal dinyatakan dalam persen[6]:

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

Keterangan :

Δh = Selisih tinggi antara dua titik yang diukur, m
Δx = Jarak horizontal antara dua titik yang diukur, m

Tahanan Gulir

Tahanan gulir dipengaruhi oleh beberapa faktor, di antaranya adalah berat total muatan yang diangkut, kondisi dan kualitas permukaan jalan, tingkat gesekan internal kendaraan, karakteristik struktur jalan yang dilalui[7], serta luas bidang kontak antara ban kendaraan pada permukaan jalan.

Tahanan Aerodinamis

Tahanan Aerodinamis Hambatan udara merupakan satu diantara kekuatan yang dirasakan kendaraan ketika melaju maupun bergerak. Semakin besar hambatan udara maka kecepatan atau percepatan akan semakin kecil dan sebaliknya. Kecepatan dan percepatan berpengaruh terhadap besar kecilnya pemakaian bahan bakar.

$$a = \frac{1}{2}\ x\ Cd\ x\ \rho\mu\ x\ AF \quad \cdots\cdots (2)$$

Keterangan :

a = Tahanan *Aerodinamis,* (N)
Cd = Koefisien hambatan *Aerodinamis*
$\rho\mu$ = Densitas Udara, (Kg/m^3)
AF = Luas Penampang sisi depan alat angkut (m^2)

ISSN 2775-5630

Daya dan Konsumsi Bahan Bakar pada *Dump Truck*

Daya dan *Fuel Consumption* pada *Dump Truck*, Persamaan untuk menghitung perkiraan pemakaian bahan bakar alat angkut saat kosong dan bermuatan dapat dilihat pada persamaan (5) dengan perhitung persentase daya alat angkut saat kosong terdapat pada persamaan (3) dan perhitung persentase daya alat angkut saat bermuatan terdapat pada persamaan (4).

$$\%Daya\ alat\ angkut\ kosong = \frac{Daya\ alat\ angkut\ kosong}{Daya\ Total} x100\% \quad \text{..... (3)}$$

$$\%Daya\ alat\ angkut\ bermuatan = \frac{Daya\ alat\ angkut\ bermuatan}{Daya\ Total} x100\% \quad \text{..... (4)}$$

$$Konsumsi\ Bahan\ Bakar = \%Daya\ alat\ angkut \times Konsumsi\ Bahan\ Bakar/Ritase \quad \text{..... (5)}$$

Nilai daya yang dikeluarkan oleh setiap alat angkut di tiap ruas jalan jalan dapat dihitung menggunakan persamaan (6) dan (7).

$$Pa = v_a \times (a \times va^2) + (b \times w_a) \quad \text{..... (6)}$$

$$Pk = v_k \times (a \times vk^2) + (c \times w_k) \quad \text{..... (7)}$$

Keterangan :

Pa = Daya yang diperlukan suatu alat angkut untuk memindahkan material tanah dari area pemuatan sampai ke area penimbunan (kW)

Pk = Daya yang diperlukan suatu alat angkut pada saat kembali dari area penimbunan kembali ke area pemuatan (kW)

v_a = kecepatan alat angkut bermuatan rata-rata dari area pemuatan sampai dengan area penimbunan (m/s)

v_k = kecepatan alat angkut kosongan rerata dari area penimbunan sampai ke area pemuatan (m/s)

w_a = Berat alat angkut bermuatan (kg)

w_k = Berat alat angkut kosong (kg)

a, b, c = Konstanta

Perhitungan nilai konstanta a dapat dilihat pada persamaan (2) dan konstanta b dan c bisa dicermati melalui persamaan (8) dan (9).

$$b = (g\ x \cos\theta\ x\ \big(f + (Crr)\big) + (g\ x \sin\theta) \quad \text{..... (8)}$$

$$c = (g\ x \cos\theta\ x\ \big(f + (Crr)\big) - (g\ x \sin\theta) \quad \text{..... (9)}$$

Keterangan :

g = Percepatan Gravitasi (m/s^2)

θ = Sudut *Grade* (^{o})

f = Koefisien gesekan ban pada permukaan jalan

Crr = Koefisien tahanan gulir

Hasil 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 Data

Metode analisis yang digunakan dalam penelitian ini adalah regresi linear sederhana, yakni analisis yang menggambarkan hubungan fungsional antara satu variabel independen dan satu variabel dependen. Variabel independen atau variabel bebas merupakan variabel yang memberikan pengaruh, sedangkan variabel dependen atau variabel terikat merupakan variabel yang menerima pengaruh dari variabel bebas tersebut. Keterkaitan antara kedua variabel tersebut kemudian diformulasikan ke dalam sebuah persamaan matematis.[8] :

$$Y=a+bX \quad \text{.....(10)}$$

Keterangan :

Y = Variabel Terikat (Konsumsi Bahan Bakar)

X = Variabel Bebas (kemiringan jalan)

a = Konstanta regresi

b = Konstanta regresi

Hasil dari analisis 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 untuk korelasi sangat kuat berada pada 0,75 – 0,99, Korelasi kuat berada pada 0,50 -0,7, Korelasi cukup berada pada 0,25 – 0,50, Korelasi sangat lemah berada pada 0 – 0,25 dan jika tidak ada korelasi maka nilai nya 0.

METODE

Pada penelitian ini dilakukan beberapa tahapan kegiatan dalam pengumpulan data dan pengolahan serta diselesaikan dengan metode :

Studi Literatur

Merupakan fase awal yang dilaksanakan guna memahami secara mendalam area penelitian sebelum pelaksanaan pengumpulan data di lapangan. Proses ini berfungsi sebagai landasan utama dalam perencanaan penelitian serta menjadi acuan dalam menentukan metode dan strategi pengumpulan data.

Observasi Lapangan

Penulis melakukan observasi langsung di lapangan sebagai peninjauan dan pengamatan terhadap objek penelitian seperti kondisi lapangan dan gambaran kondisi jalan secara nyata tentang kegiatan pengangkutan yang dilakukan sebagai tahap awal untuk mengenali area penelitian sebelum pengumpulan data dimulai. Kegiatan ini dilakukan di PT. Tambang Mineral Maju.

Pengambilan Data

Pengambilan data ini pada front penambangan menuju stockpile yang telah di rekomendasikan Perusahaan terhadap peneliti. Pengambilan data terbagi menjadi 2 yaitu:

1. **Data Primer**
   a. Data *grade j*alan angkut
   b. Waktu edar (*cycle time*) alat angkut Shacman F3000
   c. Tahanan gulir (*Rolling resistance*)
   d. Koefisien gesek ban
   e. Konsumsi bahan bakar harian
2. **Data Sekunder**
   a. Peta desain alat angkut
   b. Peta topografi
   c. Spesifikasi alat muat dan alat angkut
   d. Sepsifikasi alat ukur
   e. Jadwal kerja di PT.Tambang Mineral Maju

Pengolahan Data

Data yang telah dikumpulkan baik data primer maupun data sekunder dikelompokkan berdasarkan jenis dan kegunaannya. Kemudian diolah mendapatkan :

Kemiringan jalan

Kemiringan jalan merupakan perbandingan antara beda tinggi terhadap jarak horizontal dinyatakan dalam persen

Tahanan Gulir

Tahanan gulir dipengaruhi oleh beberapa faktor, di antaranya adalah berat total muatan yang diangkut, kondisi dan kualitas permukaan jalan, tingkat gesekan internal kendaraan, karakteristik struktur jalan yang dilalui[7], serta luas bidang kontak antara ban kendaraan pada permukaan jalan.

Tahanan Aerodinamis

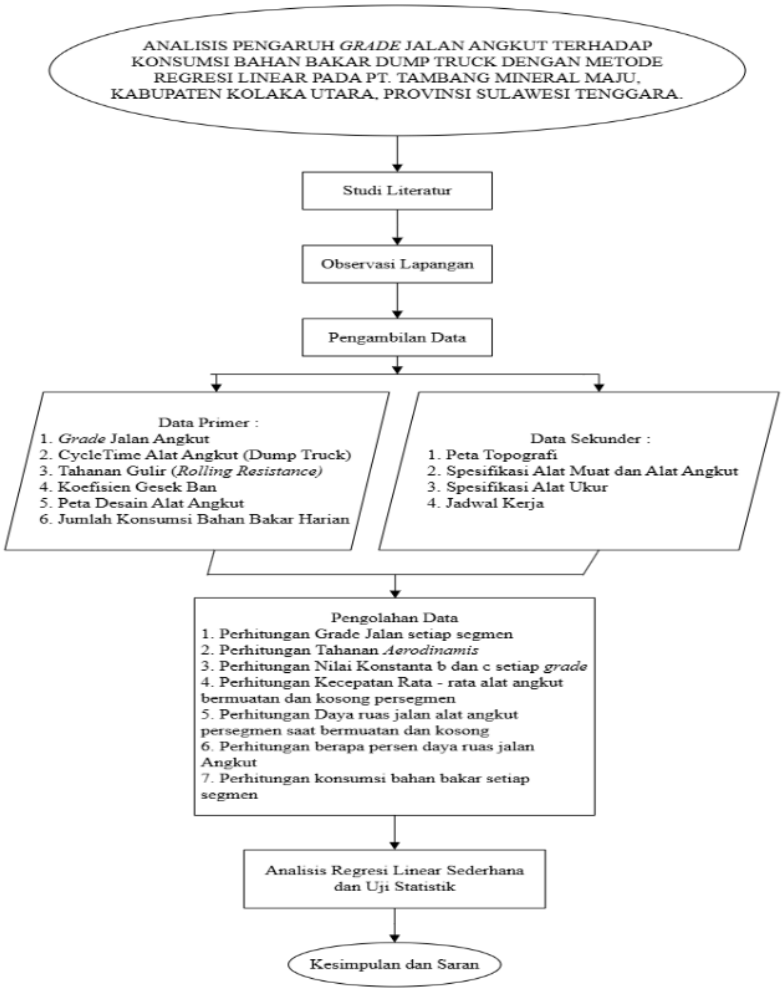
Tahanan Aerodinamis Hambatan udara merupakan satu diantara kekuatan yang dirasakan kendaraan ketika melaju maupun bergerak. Semakin besar hambatan udara maka kecepatan atau percepatan akan semakin kecil dan sebaliknya. Kecepatan dan percepatan berpengaruh terhadap besar kecilnya pemakaian bahan bakar.

Daya dan Konsumsi Bahan Bakar pada *Dump Truck*

Daya dan *Fuel Consumption* pada *Dump Truck*, Persamaan untuk menghitung perkiraan pemakaian bahan bakar alat angkut saat kosong dan bermuatan dapat dilihat pada persamaan (5) dengan perhitung persentase daya alat angkut saat kosong terdapat pada persamaan (3) dan perhitung persentase daya alat angkut saat bermuatan terdapat pada persamaan (4). Nilai daya yang dikeluarkan oleh setiap alat angkut di tiap ruas jalan jalan dapat dihitung menggunakan persamaan (6) dan (7). Perhitungan nilai konstanta a dapat dilihat pada persamaan (2) dan konstanta b dan c bisa dicermati melalui persamaan (8) dan (9).
Hasil 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 Data

Metode analisis yang digunakan dalam penelitian ini adalah regresi linear sederhana, yakni analisis yang menggambarkan hubungan fungsional antara satu variabel independen dan satu variabel dependen. Variabel independen atau variabel bebas merupakan variabel yang memberikan pengaruh, sedangkan variabel dependen atau variabel terikat merupakan variabel yang menerima pengaruh dari variabel bebas tersebut. Keterkaitan antara kedua variabel tersebut kemudian diformulasikan ke dalam sebuah persamaan matematis.[8]
Hasil dari analisis 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 untuk korelasi sangat kuat berada pada 0,75 – 0,99, Korelasi kuat berada pada 0,50 -0,7, Korelasi cukup berada pada 0,25 – 0,50, Korelasi sangat lemah berada pada 0 – 0,25 dan jika tidak ada korelasi maka nilai nya 0.



Gambar 1. Diagram Alir Penelitian

HASIL DAN PEMBAHASAN

Kondisi Jalan Angkut

Jalan angkut yang dilakukan penelitian adalah jalan angkut kontraktor Five Star Indonesia pada rute jalan dari front penambangan menuju stockpile area, berdasarkan pengukuran dilapangan, jalan angkut berjarak 1.172,43 meter. Berikut merupakan peta jalan angkut pada penelitian.

Tabel 1 Pembagian Segmen Jalan Angkut

Segmen Jalan	Nama Segmen	Keterangan	Panjang Segmen (m)
Segmen A-B	T1	Tikungan	85,10
Segmen B-C	L1	Jalan Lurus	146,93
Segmen C-D	L2	Jalan Lurus	147,27
Segmen D-E	T2	Tikungan	77,22
Segmen E-F	T3	Tikungan	92,88
Segmen F-G	L3	Jalan Lurus	131,63
Segmen G-H	L4	Jalan Lurus	100,97
Segmen H-I	T4	Tikungan	56,04
Segmen I-J	L5	Jalan Lurus	94,35
Segmen J-K	L6	Jalan Lurus	122,52
Segmen K-L	L7	Jalan Lurus	117,52

Kemiringan Jalan

Berdasarkan hasil pengukuran dan perhitungan yang dilakukan, kemiringan jalan angkut tambang terbagi menjadi 2 yang pertama adalah kondisi saat bermuatan dari *front* penambangan menuju *stockpile* dan arah sebaliknya saat kondisi kosong dari *stockpile* menuju *front* penambangan

Tabel 2. *Grade* Jalan Angkut Saat Bermuatan

Segmen Jalan	Beda Tinggi (m)	Jarak (m)	Grade (%)
Segmen A-B	-19,45	85,10	-22,86
Segmen B-C	-23,87	146,93	-16,25
Segmen C-D	-38,55	147,27	-26,17
Segmen D-E	-15,92	77,22	-20,61
Segmen E-F	-20,31	92,88	-21,87
Segmen F-G	-16,55	131,63	-12,57
Segmen G-H	-20,44	100,97	-20,24
Segmen H-I	-10,61	56,04	-18,93
Segmen I-J	-13,09	94,35	-13,88
Segmen J-K	-25,51	122,52	-20,82
Segmen K-L	-0,55	117,52	-0,46

.

Tabel 3. *Grade* Jalan Angkut Saat Kosong

Segmen Jalan	Beda Tinggi (m)	Jarak (m)	Grade (%)
Segmen K-L	0,55	117,52	-0,46
Segmen J-K	25,51	122,52	-20,82
Segmen I-J	13,09	94,35	-13,88
Segmen H-I	10,61	56,04	-18,93
Segmen G-H	20,44	100,97	-20,24
Segmen F-G	16,55	131,63	-12,57
Segmen E-F	20,31	92,88	-21,87

Segmen D-E	15,92	77,22	-20,61
Segmen C-D	38,55	147,27	-26,17
Segmen B-C	23,87	146,93	-16,25
Segmen A-B	19,45	85,10	-22,86

Rolling Resistance

Dalam penelitian ini diasumsikan bahwa nilai *rolling resistance* pada seluruh ruas jalan adalah seragam, yaitu sebesar 3%, mengingat seluruh ruas jalan memiliki karakteristik yang sama berupa permukaan jalan yang terpelihara dengan baik dan ban kendaraan mengalami amblesan.

Kecepatan Alat Angkut

Berdasarkan hasil pengaambilan data secara lagsung dilapangan diperoleh rata rata kecepatan angkut saat bermuatan maupun saat kosong sebagai berikut.

Tabel 4. Kecepatan Dump Truck (dalam m/s)

Segmen Jalan	Kecepatan Bermuatan	Kecepatan Kosong
Segmen A-B	3,29	2,67
Segmen B-C	3,19	2,72
Segmen C-D	3,34	2,65
Segmen D-E	3,25	2,68
Segmen E-F	3,28	2,68
Segmen F-G	3,12	2,76
Segmen G-H	3,26	2,68
Segmen H-I	3,24	2,69
Segmen I-J	3,14	2,75
Segmen J-K	3,26	2,68
Segmen K-L	2,86	2,82

Daya dan Konsumsi Bahan Bakar

Perhitungan daya alat angkut pada setiap ruas jalan membutuhkan data kecepatan alat angkut bermuatan dan kosong yang bisa dicermati melalui tabel 4, Selanjutnya Perhitungan daya yang dikeluarkan oleh *dump truck* pada setiap segmen A-B hingga ruas jalan K-L dilakukan dengan perhitungan seperti pada contoh berikut ini[9]:

Ruas Jalan A-B (Saat Bermuatan)

$$Pa = v_a \times (a \times va^2) + (b \times w_a)$$
$$Pa = 3{,}29 \times (4{,}99 \times 3{,}29^2) + (-1{,}90 \times 33{,}82)$$
$$Pa = 3{,}29 \times (54{,}01) + (-64{,}22)$$
$$Pa = 177{,}7 + (-64{,}22)$$
$$Pa = 113{,}48\ Kw$$

Ruas Jalan A-B (Saat Kosong)

$$Pk = v_k \times (a \times vk^2) + (c \times w_k)$$
$$Pk = 2{,}67 \times (4{,}99 \times 2{,}67^2) + (2{,}47 \times 15)$$
$$Pk = 2{,}67 \times (35{,}57) + (37{,}05)$$
$$Pk = 94{,}98 + (37{,}05)$$
$$Pk = 132{,}07\ Kw$$

Adapun untuk nilai daya yang dibutuhkan dari alat angkut pada ruas jalan B-C hingga ruas jalan K-L dapat dilihat pada tabel 5.

Tabel 5. Tenaga (Daya) Yang dibutuhkan Setiap Ruas Jalan

Ruas Jalan	Grade (%)	P (Kw)	
		Pa	Pk
Segmen A-B	-22,86	113,48	132,07
Segmen B-C	-16,25	118,60	128,37
Segmen C-D	-26,17	111,54	134,39
Segmen D-E	-20,61	114,06	130,08
Segmen E-F	-21,87	114,92	131,80
Segmen F-G	-12,57	120,05	127,65
Segmen G-H	-20,24	116,82	129,57
Segmen H-I	-18,93	117,79	128,84
Segmen I-J	-13,88	118,74	128,38
Segmen J-K	-20,82	115,00	130,37
Segmen K-L	-0,46	125,15	117,00
Total		1286,13	1418,52
		2704,65	

Konsumsi bahan bakar alat angkut pada setiap ruas jalan dihitung dengan cara mensimulasikan kebutuhan daya alat angkut, baik dalam kondisi bermuatan maupun kosong, yang dinyatakan dalam satuan persentase. Diasumsikan bahwa total daya yang dibutuhkan dalam satu ritase penuh adalah 100%. Nilai persentase daya yang diperoleh kemudian dikalikan dengan total konsumsi bahan bakar per ritase, sehingga didapatkan estimasi konsumsi bahan bakar pada masing-masing ruas jalan [10].

Ruas Jalan A-B (Saat Bermuatan)

$$\%Daya\ alat\ angkut\ Bermuatan = \frac{Daya\ alat\ angkut\ Bermuatan}{Daya\ \ Total} x100\%$$

$$\%Daya\ alat\ angkut\ Bermuatan = \frac{113{,}48}{2704{,}65} x100\%$$

$$\%Daya\ alat\ angkut\ Bermuatan = 0{,}042\%$$

Konsumsi Bahan Bakar = % Data ruas jalan x Konsumsi bahan bakar peritase

Konsumsi Bahan Bakar = 0,042% x 3,26 liter

Konsumsi Bahan Bakar = 0,137 l/ Ritase

Ruas Jalan A-B (Saat Kosong)

$$\%Daya\ alat\ angkut\ kosong = \frac{Daya\ alat\ angkut\ kosong}{Daya\ \ Total} x100\%$$

$$\%Daya\ alat\ angkut\ kosong = \frac{132{,}07}{2704{,}65} x100\%$$

$$\%Daya\ alat\ angkut\ kosong = 0{,}048\%$$

Konsumsi Bahan Bakar = % Data ruas jalan x Konsumsi bahan bakar peritase

Konsumsi Bahan Bakar = 0,049% x 3,26 liter

Konsumsi Bahan Bakar = 0,159 l/ Ritase

Perhitungan persentase daya yang dikeluarkan alat angkut pada ruas jalan B-C hingga K-L dilakukan dengan metode yang sama seperti perhitungan sebelumnya. adapun nilai persentase daya dan konsumsi bahan bakar dump truck pada seluruh ruas jalan hingga K-L disajikan pada Tabel 6.

Tabel 6. Konsumsi Bahan Bakar Dump Truck (Dalam Liter/Ritase)

Ruas Jalan	P (%)		Konsumsi Bahan Bakar	
	Pa	Pk	Bermuatan	Kosong
Segmen A-B	0,042	0,049	0,137	0,159
Segmen B-C	0,044	0,047	0,143	0,155
Segmen C-D	0,041	0,050	0,134	0,162

Ruas Jalan	P (%)		Konsumsi Bahan Bakar	
	Pa	Pk	Bermuatan	Kosong
Segmen D-E	0,042	0,048	0,137	0,157
Segmen E-F	0,042	0,049	0,138	0,159
Segmen F-G	0,044	0,047	0,145	0,154
Segmen G-H	0,043	0,048	0,141	0,156
Segmen H-I	0,044	0,048	0,142	0,155
Segmen I-J	0,044	0,047	0,143	0,155
Segmen J-K	0,043	0,048	0,139	0,157
Segmen K-L	0,046	0,043	0,151	0,141
	Total		1,549	1,709
			3,26 Liter/ Ritase	

Berdasarkan Tabel 6, konsumsi bahan bakar tertinggi terdapat pada ruas jalan C-D saat kosong sebesar 0,162 liter/ritase. Ruas jalan tersebut merupakan jalur yang dilalui dump truck saat mengangkut biji nikel dari *Stockpile* Menuju *Front* Penambangan Tingginya konsumsi bahan bakar pada ruas jalan tersebut disebabkan oleh besarnya daya yang harus dikeluarkan dump truck akibat nilai kemiringan (*grade*) jalan yang tinggi.

Berdasarkan perhitungan menggunakan metode pembobotan minyak, konsumsi bahan bakar aktual saat bermuatan adalah 1,549 liter/ritase, saat kosong sebesar 1,709 liter/ritase, sehingga total konsumsi bahan bakar keseluruhan mencapai 3,26 liter/ritase.

Analisis Regresi

Berikut disajikan persamaan regresi linier sederhana hasil pengolahan menggunakan SPSS 27 yang terbentuk sebagai dasar kemiringan terhadap konsumsi bahan bakar.

Analisis Regresi Saat Bermuatan

Berikut merupakan analisis regresi linear saat bermuatan, Pada tabel ini didapatkan nilai R dan R square terhadap output SPSS bisa dicermati melalui bagian *Model Summary* :

Tabel 7. Hasil Koefisien Korelasi dan Koefisien Determinsi Saat Bermuatan

Model Summary				
Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate
1	,962[a]	,926	,917	,00135
a. Predictors: (Constant), Kemiringan Jalan				

Hasil koefisien korelasi dan koefisien determinasi antara grade jalan dan konsumsi bahan bakar kendaraan bermuatan (tabel-7) menunjukkan nilai R square sebesar 0,926, yang mengindikasikan bahwa koefisien determinasi mencapai 92,6%. Hal ini berarti hampir seluruh variasi konsumsi bahan bakar mampu dijelaskan oleh variabel grade jalan, sementara sisanya dipengaruhi oleh faktor-faktor lain di luar variabel yang dikaji. Perlu diketahui bahwa nilai koefisien (R) senilai 0,962 yang menandakan terdapat keterkaitan yang sangat kuat antara variabel kemiringan jalan terhadap konsumsi bahan bakar dump truck. Nilai R berkisar antara 0 hingga 1, di mana semakin mendekati angka 0 maka keeratan hubungan antar variabel semakin lemah. Selanjutnya dilakukan perhitungan persamaan regresi linear. Dapat dilihat pada tabel *Coefficients* didapatkan nilai konstanta adalah sebagai berikut :

Tabel 8. Hasil Persamaan Regresi Linear Sederhana Saat Bermuatan

Coefficinets[a]					
Model	*Unstandardized Coefficients*		Standardized Coefficients	t	Sig.
	B	Std. Error	Beta		

1	(Constant)	,152	,001		131,566	<,001
	Kemiringan Jalan	0,0006	.000	,962	10,575	<,001
a. Dependent Variable : Konsumsi Bahan Bakar Bermuatan						

Dari data tersebut, diperoleh persamaan regresi linear sederhana sebagai berikut: Y = 0,152 + 0,0006x. Nilai konstanta sebesar 0,152 mengandung arti bahwa tanpa adanya pengaruh grade jalan, kendaraan tetap mengonsumsi bahan bakar sebesar 0,152 liter. Adapun koefisien regresi senilai 0,0006 menunjukkan bahwa setiap peningkatan grade jalan sebesar 1% akan diikuti oleh kenaikan konsumsi bahan bakar sebesar 0,0006 liter.

Analisis Regresi Saat Kosong

Berikut merupakan analisis regresi linear saat kosong, Pada tabel ini didapatkan nilai R dan R square pada output SPSS dapat dilihat di bagian *Model Summary* :

Tabel 9. Hasil Koefisien Korelasi dan Koefisien Determinsi Saat Kosong

Model Summary				
Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate
1	,965[a]	,932	,925	,00147
a. Predictors: (Constant), Kemiringan Jalan				

Hasil koefisien korelasi dan koefisien determinasi antara grade jalan dan konsumsi bahan bakar kendaraan kosong (tabel-9) menunjukkan nilai R square sebesar 0,932, yang mengindikasikan bahwa koefisien determinasi mencapai 93,2%. Hal ini berarti hampir seluruh variasi konsumsi bahan bakar mampu dijelaskan oleh variabel grade jalan, sementara sisanya dipengaruhi oleh faktor-faktor lain di luar variabel yang dikaji. Perlu diketahui bahwa nilai koefisien (R) senilai 0,965 yang menandakan terdapat keterkaitan yang sangat kuat antara variabel kemiringan jalan terhadap konsumsi bahan bakar dump truck. Nilai R berkisar antara 0 hingga 1, di mana semakin mendekati angka 0 maka keeratan hubungan antar variabel semakin lemah. Selanjutnya dilakukan perhitungan persamaan regresi linear. Dapat dilihat pada tabel *Coefficients* didapatkan nilai konstanta adalah sebagai berikut :

Tabel 10. Hasil Persamaan Regresi Linear Sederhana Saat Kosong

Coefficinets[a]						
Model		*Unstandardized Coefficients*		Standardized Coefficients	t	Sig.
		B	Std. Error	Beta		
1	(Constant)	,142	,001		112,872	<,001
	Kemiringan Jalan	-,0007	.000	-,965	-11,118	<,001

Dari data tersebut, diperoleh persamaan regresi linear sederhana sebagai berikut: Y = 0,142 - 0,0007x. Nilai konstanta sebesar 0,142 mengandung arti bahwa tanpa adanya pengaruh grade jalan, kendaraan tetap mengonsumsi bahan bakar sebesar 0,142 liter. Adapun koefisien regresi senilai -0,0007 menunjukkan bahwa setiap peningkatan grade jalan sebesar 1% akan diikuti oleh penurunan konsumsi bahan bakar sebesar 0,0007 liter.

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. Pada penurunan kemiringa jalan tidak dapat dilakukan pada semua segmen jalan karena kemiringan jalan tertentu sebagian terdapat bagian tikungan yang langsung dilanjutkan dengan jalan lurus menanjak sehinggga secara geometris tidak memungkinkan untuk dilakukan rekayasa penurunan grade tanpa mengubah penyelarasan jalan secara keseluruhan. Setelah dilakukan perbaikan kemiringan jalan, maka jalan angkut dibagi menjadi 10 segmen berikut pembagian pada tiap segmen jalan.

Tabel 11. Pembagian Segmen Jalan Angkut Setelah dilakukan Perbaikan

Segmen Jalan	Nama Segmen	Keterangan	Panjang Segmen (m)
Segmen A-B	T1	Tikungan	85,10
Segmen B-C	L1	Jalan Lurus	146,93
Segmen C-D	L2	Jalan Lurus	147,27
Segmen D-E	T2	Tikungan	77,22
Segmen E-F	T3	Tikungan	92,88
Segmen F-G	L3	Jalan Lurus	131,63
Segmen G-H	L4	Jalan Lurus	100,97
Segmen H-I	T4	Tikungan	56,04
Segmen I-J	L5	Jalan Lurus	94,35
Segmen J-L	L6	Jalan Lurus	240,04

Tabel 12. *Grade* Jalan Saat Bermuatan Pada Tiap Segmen Setelah Perbaikan

Segmen Jalan	Beda Tinggi (m)	Jarak (m)	Grade (%)
Segmen A-B	-19,45	85,10	-22,86
Segmen B-C	-23,87	146,93	-16,25
Segmen C-D	-38,55	147,27	-26,17
Segmen D-E	-15,92	77,22	-20,61
Segmen E-F	-20,31	92,88	-21,87
Segmen F-G	-16,55	131,63	-12,57
Segmen G-H	-20,44	100,97	-20,24
Segmen H-I	-10,61	56,04	-18,93
Segmen I-J	-13,09	94,35	-13,88
Segmen J-L	-26,054	240,04	-10,85

Tabel 13. *Grade* Jalan Saat Kosong Pada Tiap Segmen Setelah Perbaikan

Segmen Jalan	Beda Tinggi (m)	Jarak (m)	Grade (%)
Segmen J-L	26,054	240,04	10,85
Segmen I-J	13,09	94,35	13,88
Segmen H-I	10,61	56,04	18,93
Segmen G-H	20,44	100,97	20,24
Segmen F-G	16,55	131,63	12,57
Segmen E-F	20,31	92,88	21,87
Segmen D-E	15,92	77,22	20,61
Segmen C-D	38,55	147,27	26,17
Segmen B-C	23,87	146,93	16,25
Segmen A-B	19,45	85,10	22,86

Berikut merupakan perbandingan konsumsi bahan bakar sebelum dan sesudah perbaikan grade jalan saat bermuatan maupun saat kosong. Perbandingan tersebut menunjukkan adanya perubahan tingkat konsumsi bahan bakar kendaraan setelah dilakukan perbaikan, yang dipengaruhi oleh grade jalan yang lebih baik

Tabel 14. Konsumsi Bahan Bakar Sebelum dan Sesudah Perbaikan Peritase

Ruas Jalan	Konsumsi Bahan Bakar Aktual (Liter/Ritase)		Konsumsi Bahan Bakar Setelah Perbaikan (Liter/Ritase)		Hemat (Liter/Ritase)
	Bermuatan	Kosong	Bermuatan	Kosong	
Segmen A-B	0,137	0,159	0,137	0,159	-
Segmen B-C	0,143	0,155	0,143	0,155	-
Segmen C-D	0,134	0,162	0,134	0,162	-
Segmen D-E	0,137	0,157	0,137	0,157	-
Segmen E-F	0,138	0,159	0,138	0,159	-
Segmen F-G	0,145	0,154	0,145	0,154	-
Segmen G-H	0,141	0,156	0,141	0,156	-
Segmen H-I	0,142	0,155	0,142	0,155	-
Segmen I-J	0,143	0,155	0,143	0,155	-
Segmen J-K	0,139	0,157	0,158	0,149	0,281
Segmen K-L	0,151	0,141			
Total	1,549	1,709	1,418	1,561	0,281
	3,26		2,979		0,281

Nilai Konsumsi Bahan Bakar Setelah dilakukan rekomendasi perbaikan kemiringan jalan adalah sebesar 2,979 Liter/Ritase dari yang sebelumnya 3,26 Liter/Ritase , dan didapatkan konsumsi bahan bakar dapat menghemat 0,281 Liter/Ritase Atau 0,842 Liter/Jam, dan perhari sebesar 6,744 Liter/Hari dan dalam sebulan bahan bakar dapat dihemat sebesar 175,34 Liter/bulan untuk satu unit *dump truck* .

KESIMPULAN

Berdasarkan penelitian yang sudah dilaksanakan di PT. Tambang Mineral Maju, maka diperoleh kesimpulan diantaranya:

Bersumber hasil pengukuran dan perhitungan yang telah dilakukan, jalan angkut terdiri dari 11 segmen dengan total panjang jalan 1.172,43 meter. Nilai grade jalan terendah berada pada segmen K-L sebesar 0,46%, sedangkan nilai grade jalan tertinggi berada pada segmen C-D sebesar 26,17%. Kemudian Analisis didasarkan pada persamaan regresi linear Untuk berangkat bermuatan mempunyai keterkaitan yang begitu kuat pada skor koefisien korelasi (R) sebesar 0,962, korelasi determinasi (R Square) senilai 0,926 dan setiap kenaikan kemiringan jalan 1% saat bermuatan maka konsumsi bahan bakar akan naik 0,0006 liter, sebaliknya hubungan kemiringan jalan pada konsumsi bahan bakar saat kosong adalah keterkaitan yang sangat kuat pada skor koefisien korelasi (R) senilai 0,965, korelasi determinasi (R Square) sebesar 0,932, Pada setiap kenaikan kemiringan jalan 1% maka konsumsi bahan bakar saat kosong akan berkurang 0,0007liter. Selanjutnya Berdasarkan hasil perhitungan Nilai Konsumsi Bahan Bakar Setelah dilakukan rekomendasi perbaikan kemiringan jalan pada segmen J-K adalah sebesar 2,979 Liter/Ritase dari yang sebelumnya 3,26 Liter/Ritase, dan didapatkan konsumsi bahan bakar dapat menghemat 0,281 Liter/Ritase Atau 0,842 Liter/Jam, dan perhari sebesar 6,744 Liter/Hari dan dalam sebulan bahan bakar dapat dihemat sebesar 175,34 Liter/bulan untuk satu unit dump truck.

UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih kepada keluarga besar penulis, Bapak Ibu dosen Teknik Pertambangan ITATS, teman – teman angkatan 2022, dan Bapak Ibu di PT. Tambang Mineral Maju tempat Tugas Akhir penulis.

DAFTAR PUSTAKA

[1] A. I. Samanlangi, *Sistem Penambangan*. Yogyakarta: Cv. Andi Offset, 2016.
[2] Y. Fanani, “Analisa Model Matematika Pengaruh Geometri Jalan Angkut Terhadap Konsumsi Bahan

Bakar Dump Truck (Studi Kasus : Pt. Bukit Asam Tbk. Sumatera Selatan)," 2019.

[3] Soofastaei, "Investigasi Komprehensif Tentang Pengaruh Varians Pemuatan Terhadap Konsumsi Bahan Bakar Dan Emisi Gas Dalam Operasi Pengangkutan Tambang," *Sciencedirect*, Vol. 26, Pp. 995–1001, 2016, Doi: Https://Doi.Org/10.1016/J.Ijmst.2016.09.006.

[4] K. Anne And C. Kubler, "Optimisation Of Off-Highway Truck Fuel Consumption Through Mine Haul Road Design," No. October, 2015.

[5] S. Wulan Nur Auningsih, *Analisis Geometri Dan Kelayakan Jalan Angkut Tambang Berdasarkan Nilai Atterberg Dan California Bearing Ratio (Cbr) Di Pt. Inti Bara Nusalima*. 2022. [Online]. Available: Https://Www.Scribd.Com/Document/761008561/Skripsi-Sri-Wulan-Nur-A-F1d117016-Teknik-Pertambangan

[6] A. F. Ramadhani, A. Rauf, R. Hariyanto, And O. W. Lusantono, "Kajian Produktivas Alat Muat Dan Alat Angkut Berdasarkan Match Factor Dan Teori Antrian Pada Kegiatan Pengangkutan Ore (Eto Efo) Di Pt Djava Berkah Mineral Site Pt Bumanik, Kabupaten Morowali Utara Sulawesi Tengah," *Veteran*" *Yogyakarta, Indones.*, Vol. 1, P. 3, 2023.

[7] S. Refdi Ardian, Maryanto And Prodi, "Kajian Pengaruh Jarak Dan Kemiringan Jalan Terhadap Konsumsi Bahan Bakar Dengan Menggunakan Analisis Regresi Linier Berganda Di Tambang Sirtu Cv Arindo , Desa Paseh Kaler , Kecamatan Paseh Kabupaten," Pp. 201–209.

[8] Y. Fanani, "Analisis Hubungan Cbr , Tahanan Guling Dan Daya Dukung Tanah Terhadap Kecepatan Dump Truck Pada Jalan Angkut Tambang Menggunakan Metode Regresi Linier," *Tek. Pertambangan, Inst. Teknol. Adhi Tama Surabaya*, Vol. 8, No. 1, Pp. 14–21, 2020.

[9] J. Paul Golightly, *Nickeliferous Laterite Deposits*. Geoscienceworld.Org, 1981. Doi: Https://Doi.Org/10.5382/Av75.

[10] D. Evid Tribuana, "Efisiensi Konsumsi Bahan Bakar Berdasarkan Kemiringan Jalan Angkut Overburden : Studi Kasus Pt Bhumi Sriwijaya Perdana Coal," Vol. 9, No. 02, Pp. 69–76, 2024.