

Analisis Pengaruh Geometri Jalan *Pit Section A* Beserta Total Resistance Terhadap Speed dan Fuel Consumption Dump Truck Terex TR50D di PT XYZ

Fajar Muliardi*, Mulya Gusman

Program Studi Teknik Pertambangan, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Padang

* fajar.muliardi@gmail.com

Abstrak. Penambangan batubara di PT XYZ melibatkan berbagai tahapan, dari survei hingga pengangkutan. Pada tahap pengupasan tanah penutup di *Pit Section A*, penggunaan *excavator* Hitachi ZX870 dan alat angkut Terex TR50D sangat dipengaruhi oleh kondisi jalan. Evaluasi jalan angkut di *Pit Section A* menunjukkan beberapa ketidaksesuaian dengan standar Kepmen ESDM 1827K/2018, seperti lebar jalan kurang, kemiringan jalan melebihi batas, kurangnya superelevasi, dan kondisi permukaan licin. Ketidaksesuaian ini meningkatkan waktu tempuh dan konsumsi bahan bakar, serta menurunkan produktivitas. Perbaikan geometri jalan angkut diperlukan agar sesuai dengan standar, diharapkan *travel time* berkurang, produktivitas meningkat, dan konsumsi bahan bakar menurun. Dari 17 segmen jalan, hanya 6 dari 9 segmen jalan lurus dan 2 dari 8 segmen jalan tikungan yang ideal untuk *dump truck* Terex TR50D. Dari analisis *grade* jalan, 15 dari 17 segmen ideal. Hanya segmen 5 dan 7 yang memenuhi standar superelevasi ideal 1,04 m. Analisis *cross fall* menunjukkan hanya 4 dari 8 segmen memenuhi standar beda tinggi ideal. Pada segmen 3, *total resistance* aktual adalah 15,997 ton dan meningkat menjadi 15 ton setelah perbaikan, sehingga kecepatan *dump truck* meningkat signifikan. Produksi aktual Terex TR50D pada Juni 2024 adalah 102.473,59 LCM, yang tidak mencapai target 125.442,33 LCM. Namun, setelah perbaikan teoritis, produksi meningkat menjadi 329.952,78 LCM. *Fuel ratio* juga berkurang dari 1,59 liter/LCM menjadi 1,23 liter/LCM setelah perbaikan.

Kata kunci: geometri jalan, kecepatan, produksi, konsumsi bahan bakar, hambatan total, *rimpull*

Abstract. Coal mining at PT XYZ involves various stages, from surveying to transportation. At the overburden removal stage in *Pit Section A*, the use of the Hitachi ZX870 excavator and Terex TR50D hauling equipment is greatly influenced by road conditions. Evaluation of the haul road in *Pit Section A* showed several discrepancies with the ESDM Ministerial Decree 1827K/2018 standards, such as insufficient road width, excessive road slope, lack of superelevation, and slippery surface conditions. These discrepancies increase travel time and fuel consumption, and reduce productivity. Improvement of the haul road geometry is needed to comply with the standards, it is expected that travel time will be reduced, productivity will increase, and fuel consumption will decrease. Of the 17 road segments, only 6 of the 9 straight road segments and 2 of the 8 curved road segments are ideal for the Terex TR50D dump truck. From the road grade analysis, 15 of the 17 segments are ideal. Only segments 5 and 7 meet the ideal superelevation standard of 1.04 m. Cross fall analysis shows that only 4 of the 8 segments meet the ideal height difference standard. In segment 3, the actual total resistance was 15,997 tons and increased to 15 tons after the improvement, so the dump truck speed increased significantly. The actual production of Terex TR50D in June 2024 was 102,473.59 LCM, which did not reach the target of 125,442.33 LCM. However, after the theoretical improvement, the production increased to 329,952.78 LCM. The fuel ratio was also reduced from 1.59 liters/LCM to 1.23 liters/LCM after the improvement.

Keywords: mine road, speed, production, fuel consumption, total resistance, *rimpull*

Tanggal Diterima: 18/11/2024; Tanggal Direvisi: 27/12/2024; Tanggal Disetujui: 27/12/2024; Tanggal Dipublikasi: 27/12/2024

1. Pendahuluan

Penambangan batubara di PT XYZ melibatkan berbagai tahapan, dari survei hingga pengangkutan. Pada tahap pengupasan tanah penutup di *Pit Section A*, mereka menggunakan *excavator* Hitachi ZX870 dan alat angkut Terex TR50D. Kondisi jalan sangat memengaruhi efisiensi operasi, dan jalan tambang harus memenuhi spesifikasi tertentu berdasarkan Kepmen ESDM 1827K/2018.

Evaluasi jalan angkut di *Pit Section A* menunjukkan beberapa ketidaksesuaian dengan standar, seperti lebar jalan yang kurang dari ketentuan, kemiringan jalan yang melebihi batas maksimum, kurangnya superelevasi, dan kondisi permukaan yang licin. Kondisi ini mengakibatkan

peningkatan waktu tempuh dan konsumsi bahan bakar yang lebih tinggi, yang pada akhirnya menurunkan produktivitas.

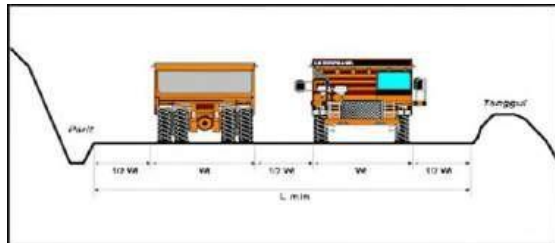
Untuk meningkatkan efisiensi, perlu dilakukan perbaikan geometri jalan angkut agar sesuai dengan standar Kepmen ESDM 1827K/2018. Dengan perbaikan ini, diharapkan *travel time* berkurang, produktivitas meningkat, dan konsumsi bahan bakar menurun, sehingga meningkatkan efisiensi dan efektivitas operasi pengangkutan batubara di PT XYZ.

2. Kajian Teori

2.1 Geometri Jalan Angkut

2.1.1 Lebar Jalan Lurus

Lebar jalan angkut pada tambang dibuat untuk jalur ganda dengan lalu lintas satu atau dua arah. Semakin lebar jalan angkut, semakin baik proses dan lalu lintas pengangkutan, serta semakin aman dan lancar. Berikut gambar dari lebar jalan berdasarkan lebar unit maksimal pada Gambar 1.^[1]



Gambar 1. Lebar Jalan Angkut pada Jalan Lurus

Menurut *AASHTO*, lebar jalan angkut harus minimal setengah dari lebar alat angkut yang digunakan, dengan rumus:^[2]

$$L_{min} = (n \times Wt) + (n + 1) \left(\frac{1}{2} \times W \right) \dots (1)$$

Keterangan.

- L_{min} : Lebar jalan angkut minimum (m)
- n : Jumlah jalur
- Wt : Lebar alat angkut (m)

2.1.2 Lebar Jalan Tikungan

Lebar jalan angkut pada belokan lebih besar dibandingkan jalan lurus. Untuk jalur ganda, lebar jalan minimum pada belokan mempertimbangkan lebar jarak ban, *overhang* alat angkut depan dan belakang saat manuver, jarak antar alat angkut saat bersimpangan, dan jarak ke tepi jalan. Lebar jalan minimum pada tikungan dihitung berdasarkan lebar jejak roda, lebar juntai alat angkut saat membelok, jarak antar alat angkut saat bersimpangan, dan jarak ke tepi jalan.^[3]

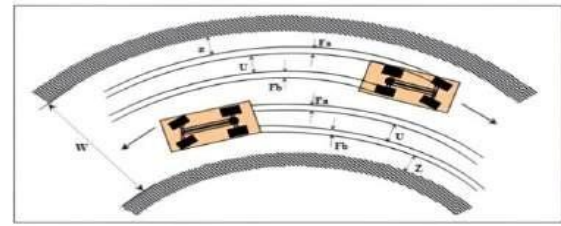
$$W_{min} = \{n \times (U + Fa + Fb + Z) + C\} \dots (2)$$

$$Z = \{(U + Fa + Fb) \div 2\} \dots (3)$$

Keterangan.

- U : Lebar jejak roda (m)
- n : Jumlah jalur
- Fa : Lebar *overhang* depan (m) $ad \times \sin \alpha$ (lebar juntai depan, m)
- Fb : Lebar *overhang* belakang (m) $ab \times \sin \alpha$ (lebar juntai belakang, m)
- Z : Lebar bagian tepi jalan (m)
- C : Jarak alat angkut yang berpapasan (m)
- A : Sudut penyimpangan roda depan ($^\circ$)

Berikut gambar dari lebar jalan tikungan berdasarkan lebar unit maksimal pada Gambar 2.



Gambar 2. Lebar Jalan Tikungan

2.1.3 Jari-Jari Tikungan

Jari-jari tikungan jalan tambang adalah faktor penting dalam desain dan konstruksi, karena memastikan kelancaran dan keselamatan operasional alat angkut. Jari-jari yang ideal mempertimbangkan jarak horizontal antara poros roda depan dan belakang, kecepatan alat angkut, gesekan roda dengan jalan, dan superelevasi. Faktor-faktor ini dapat dipertimbangkan dengan menggunakan rumus berikut.^[4]

$$R = \frac{v^2}{g \times (e + f)} \dots (4)$$

Keterangan.

- R : Jari-jari tikungan (m)
- v : Kecepatan rencana kendaraan (km/jam)
- e : Nilai superelevasi
- f : *Friction factor*/koefisien gesek
- g : Percepatan gravitasi (9,81 m/s²)

2.1.4 Superelevasi

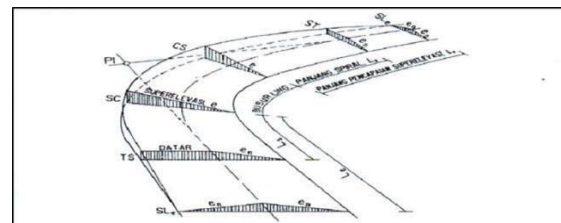
Superelevasi bertujuan untuk membantu kendaraan mengatasi tikungan dan mencegah tergelincir saat kecepatan maksimum. Besaran superelevasi dihitung berdasarkan jari-jari tikungan, kecepatan kendaraan, dan perubahan kecepatan. Rumus yang umum digunakan adalah:^[5]

$$e + f = \frac{V^2}{127 \times R} \dots (5)$$

Keterangan.

- e : Superelevasi maksimum tikungan jalan
- f : Koefisien gesekan (*friction*)
- V : Kecepatan rencana (km/jam)
- R : Jari-jari lengkung belokan (m)

Berikut gambar dari superelevasi jalan angkut pada Gambar 3.



Gambar 3. Superelevasi Jalan Angkut

2.1.5 Grade

Grade adalah perbandingan ketinggian dalam jarak horizontal, dinyatakan dalam persen (%). Semakin besar *grade* jalan angkut pertambangan, semakin tinggi biaya operasional dan

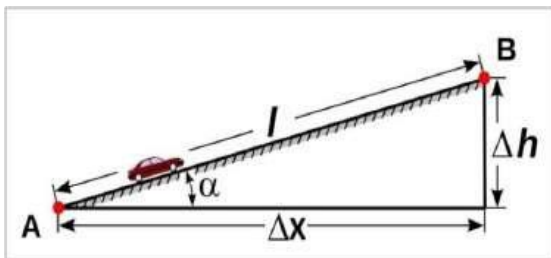
perawatan alat angkut. Kemiringan 1% berarti jalan naik atau turun satu meter per 100 meter horizontal. *Grade* jalan dapat berupa tanjakan atau turunan, memengaruhi kemampuan pengereman dan mendaki alat angkut. Dengan begitu kita bisa mencari *grade* jalan menggunakan rumus:^[6]

$$Grade(\alpha) = \frac{\Delta h}{\Delta x} \times 100\% \dots (6)$$

Keterangan :

- Δh : Beda ketinggian jalan angkut
- Δx : Selisih jarak jalan angkut yang diukur

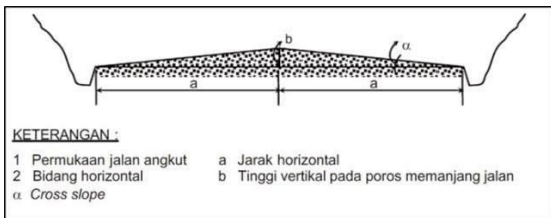
Berikut ini ilustrasi *grade* jalan pada Gambar 4.



Gambar 4. *Grade* Jalan

2.1.6 *Cross Fall*

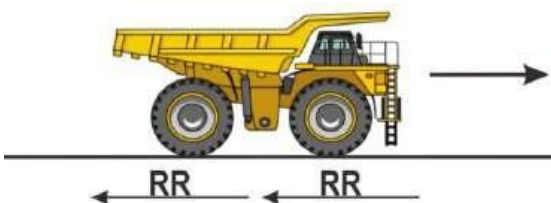
Cross Fall adalah sudut kemiringan di jalan tambang yang mencegah genangan air hujan atau limpasan. Genangan air dapat merusak struktur permukaan jalan, meningkatkan biaya perawatan, dan mengurangi produktivitas alat angkut. Berikut Gambar 5 yang menunjukkan *Cross Fall*.^[7]



Gambar 5. *Cross Fall* Jalan

2.2 *Rolling Resistance*

Rolling Resistance adalah gaya yang bekerja berlawanan dengan arah gerak kendaraan. Ini merupakan usaha mesin pada *dump truck* untuk menggulirkan atau menarik roda agar bergerak di permukaan jalan angkut.



Gambar 6. Ilustrasi *Rolling Resistance*

Rumus *Rolling Resistance*:

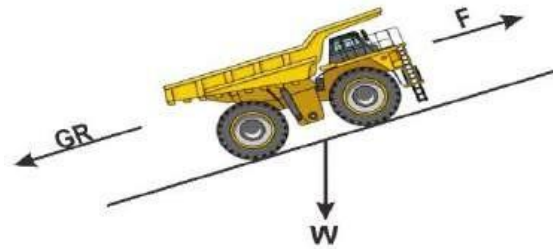
$$RR = CRR \times G \dots (7)$$

Keterangan.

- RR* : *Rolling resistance* (lbs)
- CRR* : Koefisien *rolling resistance*
- G* : Berat operasional alat (lbs)

2.3 *Grade Resistance*

Grade Resistance mengukur usaha mesin yang diperlukan untuk menggerakkan alat angkut melewati tanjakan atau *grade* jalan yang tinggi, serta untuk membantu pergerakan mesin pada turunan. Berikut gambar ilustrasi *Grade Resistance* pada Gambar 7.



Gambar 7. *Grade Resistance Dump Truck*

Grade Resistance dapat dicari dengan menggunakan rumus:

$$GR = \text{Berat Kendaraan} \times \text{Grade} \dots (8)$$

2.4 *Total Resistance*

Total Resistance pada setiap segmen jalan adalah penjumlahan dari *Rolling Resistance* dan *Grade Resistance*. Untuk jalan menanjak, rumusnya adalah $RR + GR$, dan untuk jalan menurun, $RR - GR$. *Total Resistance* mempengaruhi konsumsi bahan bakar *dump truck*, dengan nilai yang lebih tinggi menyebabkan kecepatan lebih lambat karena membutuhkan usaha mesin yang lebih besar.

2.5 *Rimpull*

Rimpull (RP) adalah kekuatan tarik yang diberikan oleh mesin atau alat pada roda atau ban penggeraknya yang menyentuh permukaan jalan angkut. Jika *coefficient of traction* cukup tinggi untuk menghindari selip, *rimpull* maksimum bergantung pada *horse power* (tenaga mesin) dan *gear ratio* (perseneling). Namun, jika terjadi selip, *RP* maksimum adalah tenaga pada roda penggerak dikalikan *coefficient of traction*. Berikut penjelasan mengenai *rimpull* dalam Gambar 8.^[8]



Gambar 8. Ilustrasi *Rimpull*

Rimpull dapat dihitung dengan rumus persamaan berikut:

$$RP = \frac{Hp K \times 375 \times Efisiensi Mekanis}{V} \dots (9)$$

Keterangan.

RP : *Rimpull*, kekuatan tarik kendaraan (lbs)
HP : *Horse Power* (Tenaga Mesin) (HP)
Eff : Efisiensi mesin
V : Kecepatan mesin (km/jam)

2.6 Kecepatan (Speed)

Kecepatan adalah faktor kunci dalam produksi *overburden*. Jika kecepatan yang direncanakan tidak tercapai, produktivitas alat angkut juga tidak optimal. Kecepatan alat angkut dipengaruhi oleh besarnya *total resistance*; semakin besar hambatan, semakin rendah kecepatannya. Ada dua cara untuk menentukan kecepatan alat angkut: berdasarkan buku panduan dari produsen alat berat dan menggunakan rumus tertentu.

$$Kecepatan = (Hp K \times 375 \times Efisiensi Mekanis) / (Rimpull) \dots (10)$$

2.7 Produktivitas Alat Angkut

Kemampuan produksi optimal yang dapat dicapai *dump truck* dalam waktu yang tersedia dihitung dengan memperhitungkan faktor koreksi yang mempengaruhinya. Adapun persamaan untuk menghitung besarnya produktivitas *dump truck* adalah:

$$P = \frac{c \times 60 \times E \times SF}{CTm} \dots (11)$$

$$c = n \times q1 \times k \dots (12)$$

Keterangan.

P : Produksi *dump truck* (LCM/jam)
n : Banyak kali pengisian oleh *bucket*
q1 : Kapasitas *bucket* (LCM)
e : Efisiensi kerja (%)
CTm : *Cycle time* atau waktu edar (menit)
k : Faktor pengisian *bucket*
c : Nilai muatan terangkut
SF : *Swell Factor*

2.8 Fuel Consumption

Fuel Consumption adalah perbandingan antara total konsumsi bahan bakar per liter dan waktu kerja alat angkut dalam jam. Ini dipengaruhi oleh jam kerja alat angkut dan perlu dipantau terus-menerus.^[9]

$$FC = \frac{Jumlah Pemakaian Bahan Bakar (liter)}{Jam Kerja (jam)} \dots (13)$$

2.9 Fuel Ratio

Fuel Ratio adalah perbandingan antara penggunaan bahan bakar per jam (liter/jam) dengan hasil produksi per-jam (ton/jam). Nilai *Fuel Ratio* yang besar akan meningkatkan biaya produksi. Faktor yang mempengaruhi *Fuel Ratio* termasuk jarak alat angkut, kemiringan jalan, dan *cycle time* alat.

$$FR = \frac{FC}{P} \dots (14)$$

2.10 Fuel Consumption Setiap Segmen

Konsumsi bahan bakar adalah fungsi dari tenaga yang dibutuhkan kendaraan untuk menggerakkan mesin. Besarnya konsumsi bahan bakar alat angkut dapat diperkirakan menggunakan persamaan berikut ini.

$$FC/Segmen = \% Daya \times FC_{per-jam} \dots (15)$$

Untuk mencari % Daya Segmen, dapat menggunakan rumus:

$$\% Daya Segmen = \frac{Daya Segmen}{Daya Total} \times 100\% \dots (16)$$

Nilai daya yang dikeluarkan oleh *dump truck* pada tiap segmen jalan dapat dilihat pada persamaan di bawah ini:

$$Pa = Va \times (a \times Va^2) + (b \times Wa) \dots (17)$$

$$Pk = Vk \times (a \times Vk^2) + (c \times Wk) \dots (18)$$

Keterangan.

Pa : Tenaga yang dibutuhkan truk untuk mengangkut material dari *loading point* ke *dumping point* (kW)
Pk : Tenaga yang dibutuhkan truk untuk mengangkut material dari *dumping point* ke *loading point* (kW)
Va : Kecepatan angkut rata-rata dari *loading point* ke *dumping point* (m/s)
Vk : Kecepatan angkut rata-rata dari *dumping point* ke *loading point* (m/s)
a, b, c : Konstanta
Wa : Berat kendaraan bermuatan (kg)
Wk : Berat kendaraan kosong (kg)

Nilai konstanta *a*, *b*, dan *c* dapat dilihat pada persamaan di bawah ini:

$$a = \frac{1}{2} \times Cd \times \rho \mu \times AF \dots (19)$$

$$b = (g \times \cos \theta \times (f + Crr)) + (g \times \sin \theta) \dots (20)$$

$$c = (g \times \cos \theta \times (f + Crr)) - (g \times \sin \theta) \dots (21)$$

Keterangan.

Cd : Koefisien hambatan aerodinamis
ρμ : Densitas udara (kg/m³)
AF : Luas bagian depan kendaraan (m²)
g : Percepatan gravitasi (m/s²)
θ : Sudut kemiringan jalan (°)
f : Koefisien gesekan ban dengan permukaan jalan
Crr : Koefisien tahanan gulir

Tanda positif pada konstanta *b* dan *c* digunakan untuk kemiringan jalan menanjak, sementara tanda negatif digunakan untuk kemiringan jalan menurun.

2.11 Analisis Regresi Berganda

Analisis regresi berganda adalah metode statistik yang mengevaluasi pengaruh beberapa dependen dan memperkirakan nilai variabel

dependen berdasarkan kombinasi variabel independen. Model dasar analisis regresi berganda adalah:

$$Y = a + b_1X_1 + b_2X_2 + \dots + b_nX_n + \varepsilon \dots (22)$$

Keterangan.

Y : Variabel dependen. X_1, X_2, \dots, X_n
 n : Variabel independen
 a : Intersep (konstanta)
 b_1, b_2, \dots, b_n : Koefisien, menunjukkan kontribusi setiap variabel X terhadap Y
 ε : *Error term*, menangkap variabilitas dalam Y yang tidak dijelaskan oleh variabel X

3. Metodologi Penelitian

3.1 Jenis Penelitian

Penelitian ini adalah penelitian terapan yang bertujuan menemukan solusi praktis untuk masalah lapangan. Penelitian ini menggabungkan eksperimen dengan data teori dan praktik lapangan, menghasilkan data kuantitatif.

3.2 Jenis Data

Penelitian ini melibatkan pengumpulan data kuantitatif yang mencakup pengambilan data geometri jalan (lebar, elevasi, koordinat, superelevasi, dan kemiringan jalan), serta pengukuran waktu edar (*cycle time*) untuk alat angkut Terex TR50D dan alat muat. Data ini diperoleh dari pengamatan langsung di lapangan dan bertujuan untuk memberikan gambaran rinci mengenai operasi dan kondisi alat serta infrastruktur di area penelitian.

3.3 Teknik Pengumpulan Data

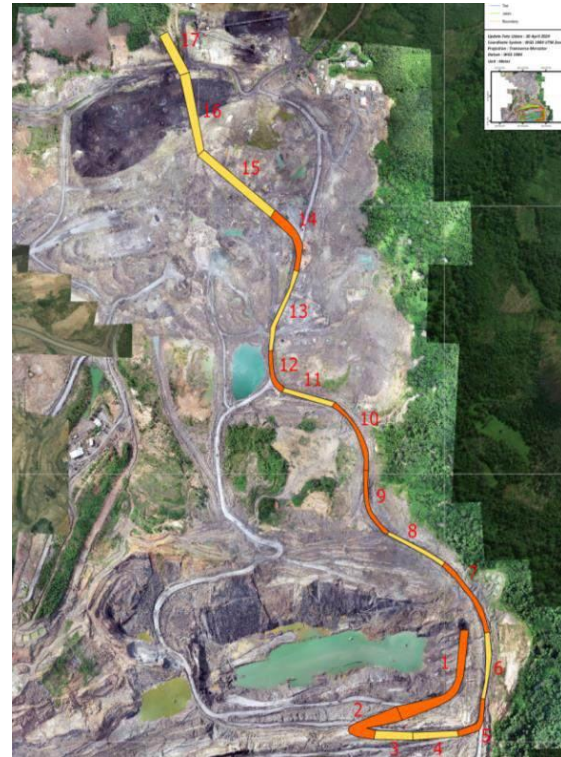
Teknik pengumpulan data melibatkan observasi dan pengambilan data langsung di PT XYZ, studi literatur untuk mendapatkan data sekunder, serta pengamatan lapangan untuk mengetahui kondisi daerah pertambangan. Data dikumpulkan melalui dua metode: data primer yang diambil langsung di lapangan dan data sekunder yang didapat dari literatur dan laporan perusahaan. Data yang diperlukan mencakup pengukuran geometri jalan, waktu edar alat angkut Terex TR50D dan alat muat, dengan tujuan memperoleh gambaran fokus penelitian.

3.4 Teknik Analisis Data

Teknik analisis data dalam penelitian ini mencakup perhitungan geometri jalan total, total *resistance*, *rimpull* untuk mendapatkan kecepatan, optimalisasi waktu edar dari kecepatan, persentase kenaikan produksi Terex TR50D, persentase penurunan nilai *fuel ratio* Terex TR50D, perhitungan konsumsi bahan bakar per segmen, dan analisis pengaruh *total resistance* serta kecepatan terhadap konsumsi bahan bakar. Hasil dari analisis ini digunakan sebagai acuan untuk rekomendasi perbaikan geometri jalan dan penggunaan bahan bakar yang lebih efisien.

4. Hasil dan Pembahasan

Berikut ini pembagian segmen pada jalan Pit A PT XYZ untuk *hauling overburden* dari *front ke disposal*.



Gambar 9. Foto Pembagian Segmen Pit A

Berikut tabel data pembagian segmen jalan Pit A PT XYZ.

Tabel 1. Data Segmen Jalan Pit A

No.	Segmen	Panjang (m)	Keterangan
1	1	227,658	Tikungan
2	2	213,52	Tikungan
3	3	132,834	Lurus
4	4	159,69	Lurus
5	5	148,815	Tikungan
6	6	181,852	Lurus
7	7	265,155	Tikungan
8	8	225,268	Lurus
9	9	210,719	Tikungan
10	10	235,408	Tikungan
11	11	179,665	Lurus
12	12	133,765	Tikungan
13	13	230,124	Lurus
14	14	211,767	Tikungan
15	15	309,787	Lurus
16	16	239,984	Lurus
17	17	141,738	Lurus
Total		3.447,75 m	
		3,448 km	

4.1 Lebar Jalan Angkut

Untuk alat angkut terbesar yang melintas yaitu Terex TR50D. Lebar badan Terex TR50D yaitu 4,240 meter. Sehingga untuk lebar jalan lurus ideal yang dilintasi oleh Terex TR50D bisa menggunakan rumus berikut.

$$\begin{aligned} L_{min} &= (n \times Wt) + (n + 1) \left(\frac{1}{2} \times W \right) \\ &= (2 \times 4,240) + (2 + 1) \left(\frac{1}{2} \times 4,240 \right) \\ &= 14,240 \text{ meter} \approx \mathbf{15 \text{ meter}} \end{aligned}$$

Tabel 2. Perbaikan Lebar Jalan Lurus

Segmen	Lebar (m)	Ideal (m)	Kondisi	Perbaikan (m)
3	16,595	15	Ideal	-
4	20,422	15	Ideal	-
6	14,441	15	Tidak	0,559
8	18,266	15	Ideal	-
11	14,997	15	Tidak	0,003
13	23,996	15	Ideal	-
15	23,553	15	Ideal	-
16	16,668	15	Ideal	-
17	12,602	15	Tidak	2,398

4.2 Lebar Jalan Tikungan

Di PT XYZ kendaraan terbesar yang melintas yaitu Terex TR50D yang memiliki spesifikasi alat sebagai berikut. Jarak roda depan dengan bagian depan truck (Ad) : 2,42 m. Jarak roda belakang dengan bagian belakang truck (Ab) : 2,495 m. Jejak antar Roda (U) : 3,325 m. Jumlah lajur (n) : 2. Sudut Lintasan Roda Depan (A) : 39° Untuk perhitungannya sebagai berikut.

$$\begin{aligned} Fa &= Ad \sin \alpha = 2,42 \text{ m} \times \sin 39^\circ = 1,523 \text{ m} \\ Fb &= Ab \sin \alpha = 2,495 \text{ m} \times \sin 39^\circ = 1,570 \text{ m} \\ C &= X = \frac{1}{2} (U + Fa + Fb) \\ &= \frac{1}{2} (3,25 \text{ m} + 1,523 \text{ m} + 1,570 \text{ m}) = 4,120 \text{ m} \\ Lt &= n (U + Fa + Fb + Z) + C \\ &= 2 (3,25 \text{ m} + 1,523 \text{ m} + 1,570 \text{ m} + 3,172 \text{ m}) + 3,172 \text{ m} \\ &= 25,196 \approx \mathbf{26 \text{ m}} \end{aligned}$$

Tabel 3. Perbaikan Lebar Jalan Tikungan

Segmen	Lebar (m)	Ideal (m)	Kondisi	Perbaikan (m)
1	29,784	26	Ideal	-
2	20,45	26	Tidak	5,55
5	22,59	26	Tidak	3,41
7	31,587	26	Ideal	-
9	18,374	26	Tidak	7,626
10	17,999	26	Tidak	8,001
12	22,616	26	Tidak	3,384
14	28,328	26	Ideal	-

4.3 Jari-jari Tikungan

Berikut rumus jari-jari tikungan sebagai berikut:

$$R = \frac{v^2}{127 \times (E + F)} = \frac{40^2}{127 \times (0,04 + 0,166)} = \mathbf{61,16 \text{ m}}$$

Rencana kecepatan alat angkut saat melewati tikungan sekitar 40 km/jam sehingga untuk rumusnya sebagai berikut.

$$\begin{aligned} f &= -0,00065 \times V + 0,192 \\ &= -0,00065 \times 40 + 0,192 \\ &= \mathbf{0,166 \text{ atau } 16,6\%} \end{aligned}$$

4.4 Superelevasi

Selanjutnya, yaitu menghitung nilai Superelevasi dengan rumus berikut.

$$\begin{aligned} e + f &= \frac{v^2}{127 \times R} \\ e &= \frac{v^2}{127 \times R} - f \\ &= \frac{40^2}{127 \times 61,16} - 0,166 \\ &= \frac{1.600}{7.767,32} - 0,166 \\ &= \mathbf{0,04 \frac{m}{m} \text{ atau } 4\%} \end{aligned}$$

Maka didapatkan nilai Superelevasi ideal untuk jari-jari tikungan 61,16 m yaitu 4%. Langkah selanjutnya menghitung beda tinggi antara sisi dalam dan sisi luar dengan menggunakan rumus berikut.

$$\tan a = e \tan \alpha = 0,04;$$

$$\text{maka } \alpha = 2,29^\circ$$

$$\begin{aligned} a &= r(\text{lebar jalan tikungan}) \times \sin \alpha \\ &= 26 \text{ m} \times \sin 2,29^\circ = \mathbf{1,040 \text{ meter}} \end{aligned}$$

Tabel 4. Perbaikan Superelevasi Lajur Bermuatan

Segmen	Beda Tinggi (m)	Ideal (m)	Kondisi	Perbaikan (m)
1	0,211	1,04	Tidak	0,829
2	0,109	1,04	Tidak	0,931
5	1,375	1,04	Ideal	-
7	1,432	1,04	Ideal	-
9	0,575	1,04	Tidak	0,465
10	0,027	1,04	Tidak	1,013
12	0,096	1,04	Tidak	0,944
14	0,102	1,04	Tidak	0,938

Tabel 5. Perbaikan Superelevasi Lajur Kosongan

Segmen	Beda Tinggi (m)	Ideal (m)	Kondisi	Perbaikan (m)
14	0,102	1,04	Tidak	0,938
12	0,096	1,04	Tidak	0,944
10	0,027	1,04	Tidak	1,013
9	0,575	1,04	Tidak	0,465
7	1,432	1,04	Ideal	-
5	1,375	1,04	Ideal	-

Segmen	Beda Tinggi (m)	Ideal (m)	Kondisi	Perbaikan (m)
2	0,109	1,04	Tidak	0,931
1	0,211	1,04	Tidak	0,829

4.5 Cross Fall

Cross Fall jalan *Pit A* PT XYZ dengan lebar minimum 15 meter bisa menggunakan rumus berikut.

$$a = \frac{1}{2} \times L$$

$$b = a \times 15 \text{ mm/m}$$

$$a = \frac{1}{2} \times 15 \text{ m} = 7,5 \text{ m}$$

$$b = 7,5 \text{ m} \times 20 \text{ mm/m} \\ = 150 \text{ mm} = \mathbf{0,15 \text{ m}}$$

Tabel 6. Perbaikan *Cross Fall*

Beda Tinggi Aktual (m)	Ideal (m)	Kondisi	Perbaikan (m)
-	0,15	Tidak	0,15
0,006	0,15	Tidak	0,144
0,118	0,15	Tidak	0,032
-	0,15	Tidak	0,15
-	0,15	Tidak	0,15
0,169	0,15	Ideal	-
0,294	0,15	Ideal	-
0,174	0,15	Ideal	-
0,218	0,15	Ideal	-

4.6 Grade

Berikut pengurangan *Grade* jalan lajur bermuatan dalam tabel berikut.

Tabel 7. Perbaikan *Grade* Jalan Lajur Bermuatan

Segmen	Grade (%)	Ideal (m)	Kondisi	Perbaikan (%)
1	4,56	12	Ideal	4,56
2	8,72	12	Ideal	8,72
3	12,798	12	Tidak	12
4	12,633	12	Tidak	12
5	8,256	12	Ideal	8,256
6	-0,803	12	Ideal	-0,803
7	0,118	12	Ideal	0,118
8	4,301	12	Ideal	4,301
9	1,607	12	Ideal	1,607
10	-1,014	12	Ideal	-1,014
11	5,345	12	Ideal	5,345
12	2,54	12	Ideal	2,54
13	2,066	12	Ideal	2,066
14	1,517	12	Ideal	1,517
15	0,959	12	Ideal	0,959
16	-0,808	12	Ideal	-0,808
17	-4,162	12	Ideal	-4,162

Tabel 8. Perbaikan *Grade* Jalan Lajur Kosongan

Segmen	Grade (%)	Ideal (m)	Kondisi	Perbaikan (%)
17	4,162	12	Ideal	4,162
16	0,808	12	Ideal	0,808
15	-0,959	12	Ideal	-0,959
14	-1,517	12	Ideal	-1,517
13	-2,066	12	Ideal	-2,066
12	-2,54	12	Ideal	-2,54
11	-5,345	12	Ideal	-5,345
10	1,014	12	Ideal	1,014
9	-1,607	12	Ideal	-1,607
8	-4,301	12	Ideal	-4,301
7	-0,118	12	Ideal	-0,118
6	0,803	12	Ideal	0,803
5	-8,256	12	Ideal	-8,256
4	-12,633	12	Tidak	-0,633
3	-12,798	12	Tidak	-0,798
2	-8,72	12	Ideal	-8,72
1	4,162	12	Ideal	4,162

4.7 Rolling Resistance (RR)

$$RR \text{ Muatan} = CRR \times \text{Berat Bermuatan} \\ = 10\% \times 125 \text{ ton} = \mathbf{12,5 \text{ ton}}$$

$$RR \text{ Kosongan} = CRR \times \text{Berat Bermuatan} \\ = 10\% \times 80 \text{ ton} = \mathbf{8 \text{ ton}}$$

Perbaikan Rolling Resistance

$$RR \text{ Muatan} = CRR \times \text{Berat Bermuatan} \\ = 8\% \times 80 \text{ ton} = \mathbf{10 \text{ ton}}$$

$$RR \text{ Kosongan} = CRR \times \text{Berat Bermuatan} \\ = 8\% \times 80 \text{ ton} = \mathbf{6,4 \text{ ton}}$$

4.8 Grade Resistance

Untuk di PT XYZ memiliki nilai *Grade Resistance* yang berbeda-beda antar segmen, berikut perhitungan nilai *Grade Resistance* segmen 3 untuk lajur kendaraan bermuatan.

$$GR = \text{Berat Kendaraan} \times \text{Grade Jalan} \\ = 125 \text{ ton} \times 12,798\% = \mathbf{15,9975 \text{ ton}}$$

Perbaikan Grade Resistance

$$GR = \text{Berat Kendaraan} \times \text{Grade Jalan} \\ = 125 \text{ ton} \times 12\% = \mathbf{15 \text{ ton}}$$

4.9 Rimpull

Berikut perhitungan nilai *Rimpull Gear 1* nilai *rimpul* maksimal Terex TR50D.

Diketahui:

$$\text{Nilai HP} = 525$$

$$\text{Efisiensi Mekanis} = 80\% \text{ atau } 0,8$$

$$\text{Kecepatan} = 10,5 \text{ km/jam atau } 6,52 \text{ Mph}$$

$$\text{Rimpull} = \frac{HP \times 375 \times \text{Eff}}{V} \\ = \frac{525 \times 375 \times 0,86}{11,60} \\ = \mathbf{14.595,91 \text{ ton}}$$

4.10 Kecepatan (Speed)

Diketahui nilai *Rolling Resistance* adalah 12,5 ton dan nilai *Grade Resistance* adalah 5,7 ton, sehingga nilai *Total Resistance* adalah 18,2 ton. Selanjutnya, nilai *Rimpull* dihitung sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \text{Rimpull } RR &= 125 \text{ ton} \times 100 = 12.500 \text{ ton} \\ &= 12,798 \times 15,997 \times 125 = 25.591,714 \text{ ton} \\ \text{Total Rimpull} &= 12.500 \text{ ton} \times 3.248,872 \text{ ton} \\ &= \mathbf{15.748,872 \text{ ton}} \end{aligned}$$

Setelah mengetahui nilai *Rimpull total*, kecepatan dihitung menggunakan rumus:

$$\begin{aligned} \text{Kecepatan} &= \frac{Hp \ K \times 375 \times EM}{\text{Rimpull}} \\ &= \frac{525 \times 375 \times 0,86}{38.091,714} \\ &= \mathbf{4,445 \text{ km/jam}} \end{aligned}$$

Peningkatan Nilai Kecepatan (Speed)

Setelah perbaikan di segmen 1, Nilai *Rolling Resistance* = 10 ton, Nilai *Grade Resistance* = 15 ton, Nilai *Total Resistance* = 25 ton, Nilai *Rimpull* setelah perbaikan:

$$\begin{aligned} \text{Rimpull } RR &= 125 \text{ ton} \times 80 = 10.000 \text{ ton} \\ \text{Rimpull } GR &= 12 \times 15 \times 125 = 22.500 \text{ ton} \\ \text{Total Rimpull} &= 10.000 \text{ ton} \times 22.500 \text{ ton} \\ &= \mathbf{32.500 \text{ ton}} \end{aligned}$$

Kecepatan setelah perbaikan dihitung dengan rumus:

$$\begin{aligned} \text{Kecepatan} &= \frac{Hp \ K \times 375 \times EM}{\text{Rimpull}} \\ &= \frac{525 \times 375 \times 0,86}{32.500} \\ &= \mathbf{5,21 \text{ km/jam}} \end{aligned}$$

4.11 Optimalisasi Cycle Time

Setelah perbaikan jalan menurunkan *Total Resistance*, kecepatan alat angkut meningkat. Peningkatan kecepatan ini mengoptimalkan nilai *cycle time*, karena waktu perjalanan alat angkut berkurang akibat kondisi jalan yang lebih baik dan bebas hambatan.

Tabel 9. Cycle Time Aktual dan Perbaikan

Keterangan	Aktual (menit)	Perbaikan (menit)
Ta1	3,43	-
Ta2	0,44	0,44
Ta3	2,57	2,57
Ta4	21,21	17,75
Ta5	0,36	0,36
Ta6	0,27	0,27
Ta7	12,33	10,19
CTa	40,62	31,58

4.12 Produktivitas Alat Angkut

Berikut tabel penjelasan mengenai produktivitas alat angkut.

Tabel 10. Produktivitas dan Produksi Alat Angkut Aktual

Produktivitas dan Produksi Terex TR50D Aktual			
Kapasitas <i>Bucket</i>	<i>Q1</i>	5	m ³
<i>Bucket Fill Factor</i>	<i>K</i>	0,83	

Jumlah Pengisian	<i>N</i>	6	
Efisiensi Kerja	<i>E</i>	0,86	
<i>Cycle Time</i>	<i>CTm</i>	39,45	menit
<i>Swell Factor</i>	<i>Sf</i>	0,85	
Jam Kerja Efektif		16,11	jam
Jumlah <i>Hauler</i> Terex di <i>Front Barat</i>		8	unit
		27,69	LCM/jam
Produktivitas	<i>P</i>	446,02	LCM/hari
		3.568,13	LCM/hari/8 Unit
Produksi <i>Hauler</i>		107.043,97	LCM/bulan

Tabel 11. Produktivitas dan Produksi Alat Angkut Perbaikan

Produktivitas dan Produksi Terex TR50D Perbaikan			
Kapasitas <i>Bucket</i>	<i>Q1</i>	5	m ³
<i>Bucket Fill Factor</i>	<i>K</i>	0,83	
Jumlah Pengisian	<i>N</i>	6	
Efisiensi Kerja	<i>E</i>	0,86	
<i>Cycle Time</i>	<i>CTm</i>	30,61	menit
<i>Swell Factor</i>	<i>Sf</i>	0,85	
Jam Kerja Efektif		16,11	jam
Jumlah <i>Hauler</i> Terex di <i>Front Barat</i>		8	unit
		35,68	LCM/jam
Produktivitas	<i>P</i>	574,82	LCM/hari
		4.598,56	LCM/hari/8 Unit
Produksi <i>Hauler</i>		137.956,8	LCM/bulan

4.13 Optimalisasi Fuel Ratio

Setelah dilakukan optimalisasi seperti *Rolling Resistance*, dan *Grade* jalan atau bisa disebut *Total Resistance*, optimalisasi *cycle time*, dan peningkatan produktivitas, tahap terakhir yaitu optimalisasi *Fuel Ratio*. Berdasarkan analisis data *Fuel Ratio* aktual, didapatkan nilai *Fuel Ratio* bulan Juni 2024 Terex TR50D sebesar 1,59 liter/LCM, namun setelah terjadi perbaikan dan peningkatan produktivitas, maka terjadi penurunan nilai *Fuel Ratio*. Berikut contoh perhitungan *Fuel Ratio* Terex TR50D bulan Juni.

Diketahui.

$$\text{Produktivitas} = 35,68 \text{ LCM/jam}$$

$$\text{Konsumsi Bahan Bakar} = 44,04 \text{ liter/jam}$$

$$\begin{aligned} \text{Fuel Ratio} &= \frac{FC}{P} \\ &= \frac{44,04 \text{ liter/jam}}{35,68 \text{ LCM/bulan}} \\ &= \mathbf{1,23 \text{ liter/LCM}} \end{aligned}$$

Tabel 12. Grafik Perbandingan Nilai *Fuel Ratio* Aktual dan Perbaikan

Sesudah Perbaikan (liter/LCM)	Sebelum Perbaikan (liter/LCM)
1,23	1,59

4.14 Perhitungan Fuel Consumption Setiap Segmen

Perhitungan daya yang dikeluarkan *dump truck* pada segmen 1 sebagai berikut:

Menghitung nilai konstanta *a*, *b*, dan *c*

$$a = \frac{1}{2} \times Cd \times \rho \mu \times AF$$

$$Cd = 0,900 \text{ kg/m}^3$$

$$\rho \mu = 1,225 \text{ meter}$$

$$Af = 3,965 \text{ kg/m}$$

$$a = \mathbf{2,186 \text{ kg/m}^3}$$

$$b = (g \times \cos \theta \times (f + Crr)) + (g \times \sin \theta)$$

$$g = 9,810 \text{ m/s}^2$$

$$\cos \theta = 0,999$$

$$f = 0,166$$

$$Crr = 0,100$$

$$\sin \theta = 0,046$$

$$b = \mathbf{3,054 \text{ m/s}^2}$$

$$c = (g \times \cos \theta \times (f + Crr)) - (g \times \sin \theta)$$

$$g = 9,810 \text{ m/s}^2$$

$$\cos \theta = 0,999$$

$$f = 0,166$$

$$Crr = 0,100$$

$$\sin \theta = 0,046$$

$$c = \mathbf{2,160 \text{ m/s}^2}$$

Menghitung Nilai *Pa* dan *Pk*

$$Pa = (g \times \cos \theta \times (f + Crr)) - (g \times \sin \theta)$$

$$Va = 12,779 \text{ m/s}$$

$$Va^2 = 163,313$$

$$Wa = 125.000 \text{ kg}$$

$$Pa = \mathbf{386.262,843 \text{ Watt} \approx 386,263 \text{ kWatt}}$$

$$Pk = (g \times \cos \theta \times (f + Crr)) - (g \times \sin \theta)$$

$$Vk = 22,549 \text{ m/s}$$

$$Vk^2 = 508,468$$

$$Wk = 80.000 \text{ kg}$$

$$Pk = \mathbf{295.007,250 \text{ Watt} \approx 295,007 \text{ kWatt}}$$

Konsumsi bahan bakar pada setiap segmen dihitung dengan mengubah nilai daya yang dikeluarkan oleh *dump truck*, baik bermuatan maupun kosong, menjadi persentase. Daya total *dump truck* dalam satu jam diasumsikan seratus persen. Setelah persentase daya diketahui, persentase tersebut dikalikan dengan konsumsi bahan bakar dalam satu jam.

Segmen 1 (Ketika Bermuatan)

$$\begin{aligned} \% \text{ Daya Segmen} &= \frac{\text{Daya Segmen}}{\text{Daya Total}} \times 100\% \\ &= \frac{386,302 \text{ kW}}{11.635,601} \times 100\% \\ &= \mathbf{0,033\%} \end{aligned}$$

Selanjutnya mencari konsumsi bahan bakar per-segmennya.

$$FC/Segmen = \% \text{ Daya Segmen} \times \frac{FC}{Ritase}$$

$$FC/Ritase = \frac{FC/jam}{60 \text{ menit}} \times CT \text{ muatan}$$

$$= \frac{44,04 \text{ liter/jam}}{60 \text{ menit}} \times 27,933$$

$$= \mathbf{20,503 \text{ liter/ritase}}$$

$$FC/Segmen = 0,033\% \times 20,503 \text{ liter/ritase}$$

$$= \mathbf{0,681 \text{ liter/segmen}}$$

Segmen 1 (Ketika Kosong)

$$\% \text{ Daya Segmen} = \frac{\text{Daya Segmen}}{\text{Daya Total}} \times 100\%$$

$$= \frac{295,007 \text{ kW}}{11.635,601} \times 100\%$$

$$= \mathbf{0,025\%}$$

Selanjutnya mencari konsumsi bahan bakar per-segmennya.

$$FC/Segmen = \% \text{ Daya Segmen} \times \frac{FC}{Ritase}$$

$$FC/Ritase = \frac{FC/jam}{60 \text{ menit}} \times CT \text{ muatan}$$

$$= \frac{44,04 \text{ liter/jam}}{60 \text{ menit}} \times 27,933$$

$$= \mathbf{20,503 \text{ liter/ritase}}$$

$$FC/Segmen = 0,025\% \times 20,503 \text{ liter/ritase}$$

$$= \mathbf{0,520 \text{ liter/segmen}}$$

4.15 Analisis Regresi Berganda Total Resistance dan Speed terhadap Fuel Consumption

Tabel 13. Variabel Uji Analisis Regresi Berganda (Muatan)

Segmen	Total Resistance (kg/ton) (X ₁)	Speed (km/jam) (X ₂)	FC/Segmen (liter/meter) (Y)
1	15,7	12,779	0,681
2	20,9	7,738	0,763
3	25	5,21	0,846
4	25	5,21	0,843
5	20,32	8,199	0,753
6	8,996	16,762	0,576
7	10,147	16,928	0,596
8	15,376	13,135	0,676
9	12,009	16,275	0,626
10	8,733	16,664	0,571
11	16,681	11,706	0,696
12	13,174	15,381	0,643
13	12,583	15,872	0,635
14	11,897	16,343	0,624
15	11,199	16,691	0,613
16	8,99	16,76	0,575
17	4,798	13,325	0,493

Tabel 14. Variabel Uji Analisis Regresi Berganda (Kosong)

Segmen	Total Resistance (kg/ton) (X ₁)	Speed (km/jam) (X ₂)	FC/Segmen (liter/meter) (Y)
1	9,73	22,549	0,52
2	7,046	26,283	0,454

Segmen	Total Resistance (kg/ton) (X_1)	Speed (km/jam) (X_2)	FC/Segmen (liter/meter) (Y)
3	5,633	26,214	0,364
4	5,186	25,86	0,365
5	4,747	25,372	0,458
6	4,368	24,852	0,651
7	2,124	20,577	0,606
8	7,211	26,186	0,55
9	5,114	25,789	0,606
10	2,959	22,326	0,639
11	6,306	26,451	0,53
12	7,042	26,286	0,59
13	-0,205	15,732	0,545
14	16	10,842	0,547
15	16	10,842	0,559
16	-0,576	15,028	0,605
17	2,752	21,901	0,705

Rumus regresi linier berganda untuk *Total Resistance* dan *Speed* terhadap *Fuel Consumption* menunjukkan bagaimana konsumsi bahan bakar (Y) dipengaruhi oleh *Total Resistance* (X_1) dan kecepatan (X_2). Untuk kondisi muatan, persamaan yang diberikan adalah:

$$Y = 0,4038 + 0,0177X_1 + 0,0014X_2$$

Konsumsi bahan bakar dasar adalah 0,4038 saat *Total Resistance* dan kecepatan nol. Setiap peningkatan satu unit dalam *Total Resistance* menambah konsumsi bahan bakar sebesar 0,0177, dan setiap peningkatan satu unit dalam kecepatan menambah konsumsi bahan bakar sebesar 0,0014.

Untuk kondisi kosong, persamaan yang diberikan adalah:

$$Y = 0,7434 - 0,0065X_1 + 0,0070X_2$$

Konsumsi bahan bakar dasar adalah 0,7434 saat *Total Resistance* dan kecepatan nol. Setiap peningkatan satu unit dalam *Total Resistance* mengurangi konsumsi bahan bakar sebesar 0,0065, dan setiap peningkatan satu unit dalam kecepatan mengurangi konsumsi bahan bakar sebesar 0,0070. Semakin tinggi *Total Resistance* atau kecepatan, semakin rendah konsumsi bahan bakar.

5. Kesimpulan dan Saran

5.1 Kesimpulan

1. Dari 17 segmen, hanya 6 dari 9 segmen jalan lurus yang ideal untuk *dump truck* Terex TR50D (segmen 1, 2, 4, 6, 7, dan 8), sedangkan segmen 3, 11, dan 17 tidak ideal. Untuk jalan tikungan, hanya segmen 1 dan 7 yang ideal dari 8 segmen yang dianalisis. Dari analisis *grade* jalan, 15 dari 17 segmen mencapai kondisi ideal, sementara segmen 3 dan 4 tidak ideal. Superelevasi ideal adalah 1,04 m; hanya segmen 5 dan 7 yang memenuhi standar. Dalam

analisis *cross fall* dari 8 segmen, hanya segmen 13, 15, 16, dan 17 yang memenuhi standar beda tinggi ideal.

2. *Total Resistance* segmen 3 aktual adalah 15,997 ton, sementara nilai perbaikan adalah 15 ton. Kecepatan *dump truck* Terex TR50D pada segmen 3 dengan keadaan muatan sebesar 4,445 km/jam dan kosong sebesar 5,210 km/jam. Setelah perbaikan, kecepatan meningkat menjadi 9,161 km/jam untuk muatan dan 10,842 km/jam untuk kosong.
3. Produksi *dump truck* Terex TR50D pada Juni 2024 belum mencapai target perusahaan dengan nilai aktual sebesar 102.473,59 LCM dibandingkan target sebesar 125.442,33 LCM. Namun setelah perbaikan teoritis, produksi meningkat menjadi 329.952,78 LCM. *Fuel Ratio* aktual pada Juni 2024 adalah 1,59 liter/LCM, setelah perbaikan teoritis menjadi 1,23 liter/LCM.
4. Analisis Regresi Berganda untuk *fuel consumption* (muatan), rumusnya adalah $Y = 0,4038 + 0,0177X_1 + 0,0014X_2$. Untuk *fuel consumption* (kosongan), rumusnya adalah $Y = 0,7434 - 0,0065X_1 - 0,0070X_2$.

5.2 Saran

1. Rencanakan geometri jalan di segmen yang direkomendasikan untuk memastikan jalan dari *pit Section A* ke *disposal* sesuai standar. Ini mencakup pengukuran ulang, penyesuaian lebar, kemiringan, dan superelevasi tikungan sesuai regulasi.
2. Pantau geometri dan tekstur permukaan jalan secara berkala untuk mencegah peningkatan *Total Resistance* yang mengurangi kecepatan dan produktivitas Terex TR50D. Inspeksi harian oleh Tim *Leader* Produksi memastikan kondisi jalan optimal dan bebas hambatan.
3. Tambah alat pemeliharaan jalan seperti 1 *Motor Grader* dan 1 *Dozer* di *front overburden* dan *disposal*. Area ini sering menjadi tempat tunggu Terex TR50D, menyebabkan amblasan jalan dan hambatan. Alat pemeliharaan tambahan menjaga kondisi jalan tetap stabil dan aman.
4. Tambah rambu-rambu dan *post guide* di sepanjang jalan angkut untuk panduan visual operator alat berat, mengurangi risiko kecelakaan, dan memastikan perjalanan lebih lancar.
5. Lakukan analisis statistik, termasuk uji signifikansi, untuk menentukan batas wajar penggunaan bahan bakar pada alat operasional dalam pengupasan *overburden*. Analisis ini membantu meningkatkan efisiensi bahan bakar.

Referensi

- [1] A. M. Hadi and M. Gusman. (2018). *Analisis Geometri Jalan AWR di Jalan AWR Pit 1 Banko Barat PT. Bukit Asam*. Vol. 8, No. 3, pp. 47–53.

- [2] J. R. Husain and A. Nurwaskito. (2016). *Kecamatan Tinanggea Kabupaten Konawe Selatan Provinsi*. Vol. 04, No. 1, pp. 39–43.
- [3] A. Suwandhi. (2004). *Diklat Perencanaan Tambang Terbuka*, Univ. Islam Bandung.
- [4] L. Firmansyah and Y. M. Anaperta. (2022). *Analisis Pengaruh Geometri Jalan Pit Majapahit Beserta Total Resistance Terhadap Speed dan Fuel Ratio Komatsu HD 785-7 PT. Kalimantan Prima Persada Site PCN Desa Sebamban Kec. Sungai Loban Kab. Tanah Bumbu Kalimantan Selatan*. *Jurnal Bina Tambang*, vol. 7, no. 3, pp. 24–52, 2022, [Online]. Available: <http://ejournal.unp.ac.id/index.php/mining/article/view/119974>.
- [5] A. Multriwahyuni, M. Gusman, and Y. Mingsi Anaperta. (2018). *Evaluasi Geometri Jalan Tambang Menggunakan Teori Aashto untuk Peningkatan Produktivitas Alat Angkut dalam Proses Pengupasan Overburden di Pit Timur PT. Artamulia Tatapratama Desa Tanjung Belit, Kecamatan Jujuhan, Kabupaten Bungo Provinsi Jambi*. *Jurnal Bina Tambang*, vol. 3, no. 4, pp. 1513–1522, 2018.
- [6] A. T. Tenriajeng. (2003). *Pemindahan Tanah Mekanis*. Jakarta: Gunadarma.
- [7] D. Tannant and B. Regensburg. (2001). *Guidelines for Mine Haul Road Design*.
- [8] P. Prodjosumarto. (1993). *Pemindahan Tanah Mekanis*. Departemen Pertambangan. Insitut Teknologi Bandung.
- [9] R. Ardian. (2019). *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 Sumedang, Provinsi Jawa Barat*. Bandung: Prosiding Teknik Pertambangan, pp. 202-209.