



ANALISIS KONSUMSI BAHAN BAKAR ALAT ANGKUT UD QUESTER CWE 370 DALAM KEGIATAN PENGANGKUTAN BIJIH NIKEL

TRANSPORTATION FUEL CONSUMPTION ANALYSIS UD QUESTER CWE 370 IN NICKEL ORE TRANSPORTATION

Nurkhamim¹, Hendra R. Adha², Tedy A. Cahyadi³, Kresno⁴, Inmarlinianto⁵

^{1,2,3,4,5} Teknik Pertambangan, Fakultas Teknologi Mineral, Universitas Pembangunan Nasional 'Veteran' Yogyakarta

Artikel masuk : 21-06-2022, Artikel diterima : 20-06-2023

ABSTRAK

Keywords:

Consumption and fuel ratio, rimpul, RPM, and road geometry.

Kata kunci:

Konsumsi dan rasio bahan bakar, rimpul, RPM, dan geometri jalan.

PT. X merupakan perusahaan pertambangan kontraktor yang terletak di Kabupaten Morowali Utara, Provinsi Sulawesi Tengah. Kegiatan pengangkutan menggunakan kombinasi alat gali dan muat *Excavator* PC300 dan alat angkut UD Quester CWE370. Berdasarkan hasil penelitian, terdapat beberapa geometri jalan angkut yang tidak sesuai standar yang memiliki kemiringan jalan melebihi 8%. Faktor-faktor lainnya yang mempengaruhi bertambahnya konsumsi bahan bakar ialah; percepatan, RPM, *brake horsepower* mesin dan beban kerja. Permasalahan yang muncul ialah konsumsi dan/atau rasio bahan bakar melebihi standar perusahaan, tercatat data pada bulan Maret 2021 konsumsi dan rasio bahan bakar alat angkut mencapai 13,63 liter/jam dan 0,47 liter/BCM dari standar perusahaan yaitu 8 liter/jam dan 0,27 liter/BCM. Analisis dilakukan untuk mengetahui pengaruh kondisi jalan angkut terhadap konsumsi bahan bakar alat angkut. Perhitungan teori konsumsi bahan bakar dilakukan menggunakan dua metode yaitu berdasarkan rimpul dan RPM. Diketahui bahwa konsumsi bahan bakar berdasarkan perhitungan rimpul ialah 12,10 liter/jam, sedangkan berdasarkan RPM ialah 18,84 liter/jam. Setelah dilakukan perbaikan pada geometri jalan akan menurunkan konsumsi bahan bakar dan produktivitas bertambah. Berdasarkan perhitungan dan rekomendasi tersebut, konsumsi bahan bakar menggunakan perhitungan rimpul yaitu; 12,45 liter/jam, sedangkan rasio bahan bakar menjadi 0,28 liter/BCM.

*Penulis Koresponden: hendrarujiadi@gmail.com

Doi : <https://doi.org/10.36986/impj.v5i1.57>

ABSTRACT

Pt. X Is A Mining Contractor Company Located In North Morowali Regency, Central Sulawesi Province. Transport Activities Use A Combination Of Excavator Pc300 And Ud Quester Cwe370. Based On The Results Of The Study, There Are Several Haul Road Geometries That Do Not Meet The Standards That Have A Road Slope Of More Than 8%. Other Factors That Affect The Increase In Fuel Consumption Are; Acceleration, Rpm, Engine Brake Horsepower And Workload. The Problem That Appear Is That The Consumption And/Or Fuel Ratio Exceeds The Company's Standards, Data Recorded In March 2021 That The Consumption And Fuel Ratio Of Transportation Equipment Reached 13.63 Liters/Hour And 0.47 Liters/Bcm From The Company Standard Of 8 Liters/Hour And 0.27 Liters/Bcm. The Analysis Was Conducted To Determine The Effect Of Haul Road Conditions On The Fuel Consumption Of Conveyances. The Theoretical Calculation Of Fuel Consumption Is Carried Out Using Two Methods, That Is Based On Rimpul And Rpm. It Is Known That Fuel Consumption Based On Rimpul Calculation Is 12.10 Liters/Hour, While Based On Rpm Is 18.84 Liters/Hour. After Making Improvements To The Geometry Of The Road Will Reduce Fuel Consumption And Increase Productivity. Based On These Calculations And Recommendations, Fuel Consumption Uses Rimpul Calculations, Namely; 12.45 Liters/Hour, While The Fuel Ratio Is 0.28 Liters/Bcm..

PENDAHULUAN

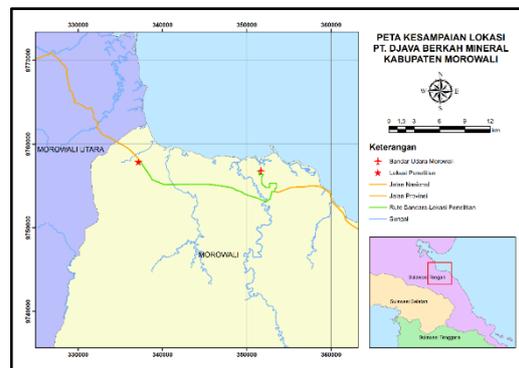
PT. X merupakan perusahaan pertambangan yang bergerak sebagai penyedia jasa usaha pertambangan (kontraktor) yang terletak di Kabupaten Morowali Utara, Provinsi Sulawesi Tengah. Metode penambangan menggunakan sistem tambang terbuka dengan metode *open cast*. PT. X memulai proses penambangan dengan mengupas tanah pucuk (*top soil*), tanah penutup (*overburden*) dan pengambilan bijih nikel (*ore nikel*) menggunakan alat muat excavator Komatsu PC200 dan excavator Komatsu PC200, sedangkan alat angkut yang digunakan *dumptruck* UD Quester CWE370.

Waktu dan jarak adalah kontributor utama konsumsi bahan bakar total dan dikategorikan dalam kelompok yang berhubungan dengan perjalanan. Penggunaan bahan bakar yang efektif dan mengembangkan tindakan perbaikan berbasis operasi akan secara signifikan menguntungkan ekonomi pertambangan dan industri lain yang melibatkan kegiatan pengangkutan material.

Pemantauan dan evaluasi tingkat produksi dan konsumsi bahan bakar *dumptruck* sangat penting untuk keberlanjutan finansial tambang terbuka karena biaya bahan bakar merupakan kontributor utama biaya operasional. Oleh karena itu, solusi taktis dan strategis terkait penggunaan bahan bakar dapat membawa manfaat yang dapat diamati bagi perusahaan pertambangan (Golbasi dan Kina, 2021).

Adanya kondisi jalan angkut yang belum sesuai dengan kondisi standar geometri jalan menyebabkan *load factor* pada mesin tinggi maka tingkat konsumsi dan rasio bahan bakar alat angkut semakin tinggi. Terdapat beberapa kasus konsumsi dan rasio bahan bakar melebihi standar yang ditetapkan perusahaan yaitu 8 liter/jam dengan rasio sebesar 0,27 liter/BCM, dari hasil data aktual 13,63 liter/jam dengan rasio bahan bakar 0,42 liter/BCM, dan dari hasil perhitungan rimpul adalah 12,10 liter/jam dengan rasio bahan bakar 0,34 liter/BCM. Oleh karena itu, perlu dilakukan analisis agar konsumsi dan rasio bahan bakar tidak melebihi standar perusahaan. Berdasarkan pengamatan penelitian di lapangan, diketahui geometri dan amblesan jalan alat angkut belum sesuai dengan standar yang ditetapkan oleh perusahaan mengakibatkan konsumsi bahan bakar bertambah. Penambahan konsumsi bahan bakar yang tidak diimbangi dengan penambahan produksi bijih nikel mengakibatkan tingginya rasio bahan bakar alat angkut.

Adapun tujuan dari penelitian ini adalah menganalisis faktor-faktor yang mempengaruhi konsumsi bahan bakar alat angkut, menganalisis konsumsi dan rasio bahan bakar alat angkut, dan memperoleh perbaikan konsumsi bahan bakar alat angkut yang lebih efektif.

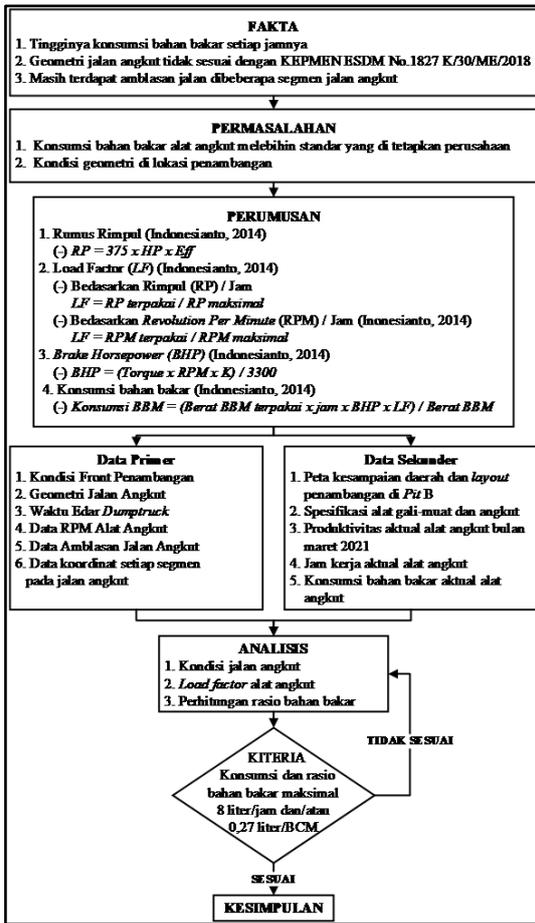


Gambar 1. Lokasi Penelitian (Google Earth,2022)

METODE

Metode penelitian yang digunakan dalam penelitian dapat dilihat pada Gambar 2 yang tercantum tentang

fakta yang ada di lapangan, permasalahan di lapangan, perumusan, data yang dibutuhkan, analisis data, dan kesimpulan penelitian.



Gambar 2. Tahapan Penelitian

Kegiatan pengangkutan bijih nikel dari lokasi pemuatan menuju *Exportable Transit Ore (ETO)* dipengaruhi oleh berbagai faktor, diantaranya :

1. Kondisi *Front Kerja*

Tempat kerja tidak hanya harus memenuhi syarat bagi pencapaian sasaran produksi tetapi juga harus aman bagi penempatan alat angkut beserta mobilitas pekerja yang berada disekitarnya. Tempat kerja yang sempit akan memperbesar waktu edar alat karena tidak ada cukup ruang untuk berbagai kegiatan, seperti keluluasaan tempat untuk berputar atau mengambil posisi sebelum dilakukan kegiatan pemuatan.

Front kerja merupakan area kegiatan penambangan aktif yang memiliki dimensi. *Front kerja* alat harus memenuhi kriteria dimensi yang mempertimbangkan kondisi alat untuk berkerja. Mobilitas alat dan produktivitas alat sangat dipengaruhi oleh dimensi *front kerja* (Suwandhi, 2014).

2. Geometri Jalan Angkut

Geometri jalan angkut adalah perhitungan ruang jalan angkut yang digunakan dalam proses kegiatan pengangkutan. Geometri jalan harus sesuai dengan dimensi alat angkut yang digunakan agar alat angkut dapat bergerak secara leluasa pada kecepatan normal dan aman (Suwandhi, 2014).

Faktor-faktor yang mempengaruhi keadaan jalan angkut sebagai berikut :

a. Lebar jalan angkut pada jalan lurus

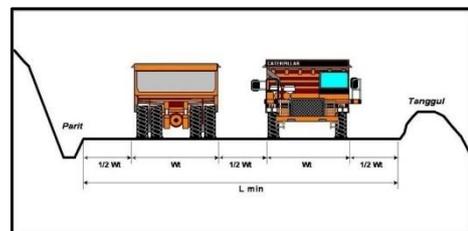
Penentuan lebar jalan angkut minimum untuk jalan lurus didasarkan pada *rule of thumb* menurut "AASSTHO (*American Association of State Transportation Highway Officials*)" dengan persamaan sebagai berikut :

$$L = (n \times Wt) + (n + 1)(0,5 \times Wt) \dots\dots\dots (1)$$

Keterangan :

- L = Lebar minimum jalan angkut lurus (m)
- N = Jumlah jalur
- Wt = Lebar alat angkut total (m)

Nilai dari angka 0,5 pada rumus diatas menunjukkan bahwa ukuran aman kedua kendaraan berpapasan adalah sebesar 0,5 Wt, yaitu setengah lebar terbesar dari alat angkut yang bersimpangan. Ukuran 0,5 Wt juga digunakan untuk jarak dari tepi kanan atau kiri jalan ke alat angkut yang melintasi secara berlawanan (Sulistyana, 2018).



Gambar 3. Lebar Jalan Angkut Lurus (Suwandhi, 2014)

b. Lebar jalan angkut pada tikungan

Lebar jalan pada tikungan selalu lebih besar dari pada lebar pada jalan lurus, menurut Sulistyana (2018) untuk jalur ganda, lebar minimum pada tikungan dapat dihitung berdasarkan pada :

- Lebar jejak ban alat angkut
- Lebar jumbai atau tonjolan (*overhang*) alat angkut bagian depan dan belakang pada saat membelok.
- Jarak antara alat angkut pada saat bersimpangan.
- Jarak (*space*) alat angkut dengan tepi jalan.

Menentukan lebar jalan angkut harus disesuaikan dengan pemilihan alat angkut yang akan digunakan pada proses penambangan. Alat memiliki lebar lintasan dan jalan memiliki

lebar tikungan. Sehingga lebar jalan angkut pada tikungan selalu lebih besar dari pada lebar jalan lurus dan lebar lintasan yang dimiliki oleh alat angkut (Suwandhi,2014).

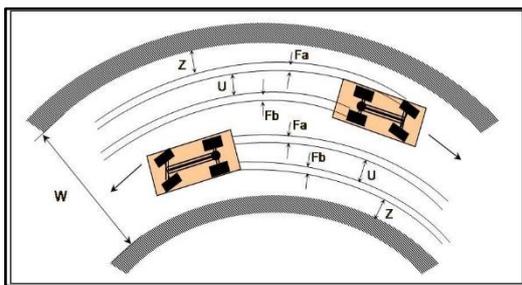
Perhitungan terhadap lebar jalan angkut pada tikungan atau belokan dapat menggunakan persamaan :

$$W = 2 (U + Fa + Fb + Z) + C \dots\dots\dots (2)$$

$$C = Z = \frac{1}{2} (U + Fa + Fb) \dots\dots\dots (3)$$

Keterangan :

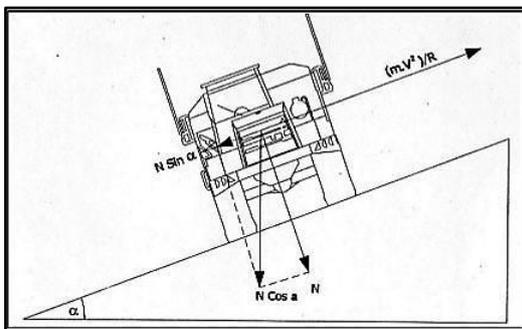
- W = Lebar jalan angkut minimum pada tikungan (m)
- N = Jumlah jalur
- U = Jarak jejak roda kendaraan (m)
- Fa = Lebar jantai depan (m)
- Fb = Lebar jantai belakang (m)
- Ad = Jarak as roda depan dengan bagian depan (m)
- Ab = Jarak as roda belakang dengan bagian belakang (m)
- C = Jarak antara dua truk yang akan bersimpangan (m)
- Z = Jarak sisi luar truk ke tepi jalan (m)



Gambar 4. Lebar Jalan Angkut pada Tikungan (Suwandhi,2014)

3. *Superelevasi*

Superelevasi merupakan kemiringan jalan pada tikungan yang terbentuk oleh batas antara tepi jalan terluar dengan tepi jalan terdalam karena perbedaan ketinggian. Bagian tikungan jalan perlu diberi *superelevasi*, yakni dengan cara meninggikan jalan pada sisi luar tikungan. Hal ini bertujuan untuk menghindari atau mencegah kendaraan tergelincir ke luar jalan atau terguling (Suwandhi, 2014).



Gambar 5. Gaya – Gaya yang bekerja pada *Superelevasi* Jalan Angkut (Suwandhi, 2014)

Besarnya *superelevasi* dapat dihitung menggunakan rumus sebagai berikut :

$$e + f = \frac{V^2}{127 R} \dots\dots\dots (4)$$

Keterangan :

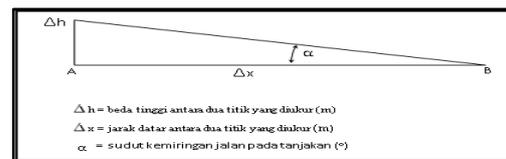
- e = *Superelevasi*
- V = Kecepatan rencana alat angkut
- f = Faktor gesekan
- R = Radius tikungan (m)

4. Kemiringan Jalan Angkut (*grade*)

Kemiringan jalan angkut (*grade*) merupakan suatu faktor penting yang harus diamati secara detail dalam kegiatan kajian terhadap kondisi jalan tambang. Hal ini dikarenakan kemiringan jalan angkut berhubungan langsung dengan kemampuan alat angkut (*grade*), baik dalam pengereman maupun dalam mengatasi tanjakan (Indonesianto,2014).

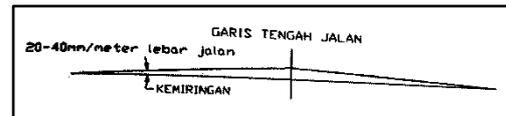
Secara umum kemiringan jalan maksimum yang dapat dilalui dengan baik oleh alat angkut kurang 10%. Namun untuk naik maupun turun daerah perbukitan, lebih aman menggunakan kemiringan jalan maksimum sebesar 8% atau 4,5°

5. Kemiringan Melintang (*Cross Slope*)



Gambar 6. Kemiringan Jalan Angkut (Indonesianto,2014)

Cross slope adalah sudut yang terbentuk oleh dua sisi permukaan jalan terhadap bidang horisontal. Pada umumnya jalan angkut mempunyai bentuk penampang melintang seperti kerucut. Pembuatan *cross slope* dimaksudkan agar saat turun hujan, air tidak menggenangi badan jalan dan segera masuk kedalam parit yang berada disamping kiri dan kanan jalan, karena air yang menggenangi pada permukaan jalan menyebabkan jalan menjadi becek dan akan mempercepat kerusakan jalan. Angka *cross slope* pada jalan angkut dinyatakan dalam perbandingan jarak vertical dan horizontal dengan satuan mm/m. Nilai yang direkomendasikan adalah 20 – 40 mm/m jarak bagian tepi jalan ke bagian tengah atau pusat jalan dan disesuaikan dengan kondisi yang ada (Suwandhi, 2014). Untuk menghindari agar pada saat hujan air tidak tergenang pada jalan, maka



Gambar 4. Kemiringan Melintang pada Jalan (Sulistiyana, 2018)

pembuatan kemiringan melintang (*cross slope*) dilakukan dengan cara membuat bagian tengah jalan lebih tinggi dari bagian tepi jalan (Sulistiyana,2018).

6. Daya Dukung Jalan Angkut

Secara keseluruhan, jalan harus mampu untuk menahan berat atau beban kendaraan maksimum yang berat diatasnya. Sehingga apabila daya dukung jalan yang ada tidak dapat menahan beban yang diterima, maka kondisi jalan akan mengalami penurunan dan pergeseran jalan maupun tanah dasarnya yang selanjutnya berakibat jalan akan bergelombang dan banyak cekungan-cekungan. Untuk menghitung kemampuan jalan angkut terhadap berat beban kendaraan dan muatannya yang akan melaluinya, maka perlu diketahui berat beban kendaraan yang diteruskan roda terhadap permukaan jalan melalui as roda biasanya tergantung dari tekanan ban dalam dan kekuatan ban luar dan daya dukung material.

Dalam analisis konsumsi bahan bakar alat angkut perlu adanya penilaian terhadap suatu pelaksanaan

pekerjaan yang bertujuan untuk mengetahui apakah pelaksanaan pekerjaan optimal atau tidak, dalam hal ini yang dimaksud antara lain:

1. Efisiensi Kerja

Efisiensi kerja adalah penilaian terhadap suatu pelaksanaan pekerjaan atau merupakan perbandingan antara waktu yang dipakai untuk bekerja dengan waktu tersedia yang dinyatakan dalam persen (%). Efisiensi kerja ini akan mempengaruhi kemampuan alat mekanis, faktor manusia, mesin, cuaca dan kondisi kerja secara keseluruhan akan menentukan besarnya efisiensi kerja. Untuk menghitung efisiensi kerja dapat menggunakan persamaan (Peurifoy,1979) :

$$Ek = \frac{We}{Wt} \times 100\% \dots\dots\dots (5)$$

Keterangan :

- Ek = Efisiensi kerja
- We = Waktu kerja efektif
- Wt = Waktu kerja tersedia

Table 1. Efisiensi kerja alat (Peurifoy, 1979)

Kondisi Operasi Alat	Pemeliharaan Mesin				
	Baik Sekali	Baik	Sedang	Buruk	Buruk Sekali
Baik Sekali	0,83	0,81	0,76	0,70	0,63
Baik	0,76	0,75	0,71	0,65	0,60
Sedang	0,72	0,69	0,65	0,60	0,54
Buruk	0,63	0,61	0,57	0,52	0,45
Buruk Sekali	0,52	0,50	0,47	0,42	0,32

2. Waktu Edar Alat Angkut

Waktu edar alat angkut (*dump truck*) pada umumnya terdiri dari waktu menggu alat untuk dimuat, waktu mengatur posisi untuk dimuati, waktu diisi muatan, waktu mengangkut muatan, waktu *dumping*, dan waktu kembali tanpa muatan. Rumus untuk menghitung waktu edar alat angkut (Burt,2018) :

$$Cta = Ta_1+Ta_2+Ta_3+Ta_4+Ta_5+Ta_6 \dots\dots\dots (6)$$

Keterangan:

- Cta = Waktu edar alat angkut (s)
- Ta₁ = Waktu mengambil posisi untuk siap Dimuati (s)
- Ta₂ = Waktu diisi muatan (s)
- Ta₃ = Waktu mengangkut muatan (s)
- Ta₄ = Waktu mengambil posisi untuk penumpahan (s)
- Ta₅ = Waktu muatan ditumpahkan (*dumping*) (s)
- Ta₆ = Waktu kembali tanpa muatan (s)

3. Kemampuan Produksi Alat Angkut

Kemampuan produksi alat angkut dipengaruhi oleh banyaknya *trip* atau lintasan yang dapat dicapai oleh alat angkut tersebut. Banyaknya *trip* dipengaruhi oleh waktu edar dan efisiensi kerja alat (Indonesianto,2014). Untuk menghitung produksi alat angkut dapat menggunakan persamaan sebagai berikut :

$$Pta = T \times Kb \times F \times n \times Ek \times SF \dots\dots\dots (7)$$

Keterangan :

- Pta = Produksi alat angkut (BCM/Jam)
- T = Banyak *trip* (*trip*/Jam)
- Kb = Kapasitas *bucket* (m³)
- F = Faktor pengisian *bucket excavator* (%)
- n = Banyak muatan *bucket excavator*
- Ek = Efisiensi kerja (%)
- SF = *Swell factor*

4. Pengaruh Tahanan Gaya Gerak Kendaraan

Pengaruh tahanan gaya gerak kendaraan salah satu faktor utama pengaruh konsumsi bahan bakar. Adapun beberapa macam pengaruh tahanan gaya gerak kendaraan, diantaranya sebagai berikut :

a. Tahanan Gulir (*Rolling Resistance*)

Rolling resistance adalah suatu gaya yang melawan jalannya roda berdasarkan jumlah *energy* yang hilang, dapat diartikan juga sebagai kuantitas energi yang hilang di setiap unit pada saat jarak tempuh. Persamaan yang sangat umum dan dasar untuk perhitungan *rolling resistance coefficient* oleh ISO 28250:2019 adalah sebagai berikut :

$$RRC = \frac{\text{Tyre Load (kN)}}{\text{Rolling Resistance Force (N)}} \dots\dots\dots (8)$$

b. Tahanan Kemiringan Jalan

Tahanan kemiringan jalan adalah tahanan yang disebabkan oleh adanya perbedaan ketinggian dari titik awal ke titik selanjutnya, dapat diartikan juga sebagai gaya yang hilang akibat adanya perbedaan kemiringan jalan. Faktor-faktor yang mempengaruhi tahanan kemiringan yaitu :

- Besarnya kemiringan jalan (%)
- Berat kendaraan (ton)

Perhitungan tahanan kemiringan menurut Indonesianto, (2014) dapat dihitung dengan rumus :

$$GR \text{ factor} = 20 \text{ (lb/ton)} \times \% \text{ grade} \dots\dots\dots (9)$$

$$GR = GR \text{ factor} \times \text{berat kendaraan} \dots\dots\dots (10)$$

Keterangan :

Grade : Kemiringan Jalan (%)

GR : *Grade Resistance*

Adapun faktor yang mempengaruhi konsumsi bahan bakar secara langsung, sehingga penggunaan bahan bakar menjadi lebih boros, diantaranya adalah :

1. Kemampuan Mesin

Daya alat angkut atau *horse power* adalah usaha yang dilakukan per satuan waktu. Usaha adalah gaya yang diperlukan untuk memindahkan sesuatu dari suatu tempat ke tempat lain (jarak). Satuan tenaga adalah TK (tenaga kuda) atau HP (*horsepower*). Untuk menghitung kebutuhan bahan bakar yang digunakan pada setiap alat mekanis menggunakan nilai dari HP yang tersedia pada setiap mesin yaitu *brake horsepower (bhp)* atau HP mesin yang dihitung dari *torque* mesin (dari engkol mesin), bukan dari *drawbar horsepower (dbhp)* yang merupakan HP yang disediakan pada roda.

Torque didefinisikan sebagai tenaga yang diperlukan untuk memutar pada sumbunya. *Torque* mesin adalah gaya yang diperlukan untuk memutar

mesin dengan jarak 1 ft. Sedangkan roda engkol mesin dengan jari-jari :

$$\begin{aligned} 1 \text{ ft} \text{ mempunyai keliling} &= 2 \times \pi \times 1 \text{ ft} \\ &= 2 \times 3,14 \times 1 \text{ ft} \\ &= 6,28 \text{ ft} \end{aligned}$$

$$1 \text{ HP} = 33.000 \text{ lb.ft/menit}$$

$$\begin{aligned} \text{Sehingga HP mesin} &= (\text{torque} \times \text{RPM} \times 6,28) / \text{HP} \\ &= (\text{torque} \times \text{RPM}) / 5252 \end{aligned}$$

2. Rimpul

Rimpul merupakan besarnya gaya atau kekuatan tarik yang dapat diberikan oleh mesin kepada roda atau ban penggerak yang menyentuh permukaan jalur jalan. Rimpul yang dapat dihasilkan setiap *gear* tidak sama, pada *gear* rendah rimpul yang tersedia besar, sedangkan pada *gear* tinggi rimpul yang tersedia kecil (Indonesianto, 2014).

Rimpul dinyatakan dalam *pounds (lbs)* dan biasanya sudah tercantum dalam spesifikasi mesin, apabila tidak ada rimpul dapat dihitung dengan rumus :

$$\text{Rimpul} = \frac{375 \times \text{HP} \times \text{Eff}}{\text{Speed}} \dots\dots\dots (11)$$

Keterangan:

HP = Daya mesin (HP)

Speed = Kecepatan (mph)

Eff = Efisiensi mesin

3. Rimpul untuk Percepatan

Rimpul untuk percepatan adalah penambahan kecepatan dari kendaraan bergerak yang diperoleh dari "gaya percepatan" yang diambil dari kelebihan rimpul. *Rate* percepatan bergantung pada berat kendaraan dan kelebihan rimpul pada masing-masing *gear* alat angkut. Percepatan alat angkut menurut Peurifoy (1998) dapat dihitung dengan rumus:

$$\alpha = \frac{F \times g}{W} \dots\dots\dots (12)$$

Keterangan :

α = Percepatan (ft/dt²)

F = Gaya percepatan (lb)

g = percepatan gravitasi (32,2 ft/dt²)

W = Berat kendaraan (lb)

4. Penggunaan Mesin (RPM)

Kecepatan putaran (*revolusi*) mesin tidak berhubungan langsung dengan kecepatan putaran (rotasi) roda. RPM mesin menunjukkan seberapa keras kerja mesin, semakin tinggi RPM mesin maka semakin keras kerja mesin. Semakin keras kerja mesin semakin banyak mesin membakar bahan bakar. Semakin tinggi RPM maka semakin tinggi juga percepatan yang dihasilkan oleh mesin dan akan menambah konsumsi bahan bakar. Keadaan mesin dimana melakukan percepatan secara tiba-tiba menambah tingkat konsumsi bahan bakar.

5. Load Factor

Load factor adalah suatu faktor pengali untuk memperoleh horse power yang sesungguhnya, sehubungan dengan pengertian bahwa tenaga maksimu, tidak dipergunakan menerus selama periode kerja, jadi besar kecilnya load factor tergantung pada kondisi kerjanya. Besar load factor dapat dihitung dengan menggunakan pengamatan RPM selama satu jam dan hourmeter (jam kerja mesin). Load factor juga dapat diketahui dari perhitungan besarnya jumlah rimpul yang terpakai (Indonesianto,2014).

Rumus Perhitungan Load Factor :

- Berdasarkan RPM

$$LF = \frac{RPM \text{ terpakai senyatanya}}{RPM \text{ tersedia dalam mesin pada HP Max}} \dots\dots\dots (13)$$

- Berdasarkan hour meter (jam kerja mesin)

$$LF = \frac{\text{Hour meter mesin (jam kerja mesin)}}{\text{Watch time (waktu sebenarnya)}} \dots\dots\dots (14)$$

Apabila rimpul terpakai dan rimpul maksimalnya diketahui, load factor dapat dihitung dengan rumus

$$LF = \frac{\text{Rimpul terpakai}}{\text{Rimpul maksimal}} \dots\dots\dots (15)$$

Menghitung kebutuhan bahan bakar pada suatu alat sangat penting dilakukan agar dapat mengevaluasi dari segi penggunaan bahan bakar, karena kontributor bahan bakar sangat berpengaruh dalam finansial sebuah perusahaan. Dalam hal ini dapat dihitung dengan rumus :

$$\text{Konsumsi bahan bakar} = \frac{\text{Berat bahan bakar terpakai}}{\text{Berat bahan bakar}}$$

Keterangan :

Berat bahan bakar terpakai = Berat bahan bakar yang masuk ke mesin selama satu jam (lb/kW x jam) x BHP x LF

Berat bahan bakar = Berat bahan bakar dalam 1 gallon (lb/gal)

Dalam hal menganalisis konsumsi bahan bakar tidak lepas dari perbandingan berapa banyak produktivitas alat tersebut. Hal ini disebut juga dengan rasio bahan bakar alat angkut.

Konsumsi bahan bakar alat angkut berbanding lurus dengan rasio bahan bakar, semakin besar konsumsi

bahan bakar maka semakin besar rasio bahan bakar. Rasio bahan bakar adalah perbandingan antara konsumsi bahan bakar (liter/jam) dengan banyaknya produktivitas (bcm/jam) (Indonesianto,2014).

$$\text{Rasio} = \frac{\text{Konsumsi Bahan Bakar}}{\text{Produksi Alat Angkut pada Satuan Waktu}} \dots (16)$$

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengangkutan bijih nikel pada PT. X dari front kerja menuju ETO dilakukan dengan menggunakan alat angkut dumptruck UD Quester CWE 370 dengan jarak 1956 m. PT. X menerapkan standarisasi untuk konsumsi bahan bakar alat angkut sebesar 8 liter/jam dengan rasio bahan bakar 0,27 liter/BCM untuk mengangkut bijih nikel. Standarisasi perusahaan dilakukan untuk menekan biaya operasi, sehingga dapat memaksimalkan konsumsi dan rasio bahan bakar pada alat angkut UD Quester CWE 370. Pada kasus dilapangan masih terjadi konsumsi dan rasio bahan bakar yang belum sesuai dengan standar perusahaan.

Kondisi Jalan Angkut

Jalan angkut yang dijadikan penelitian adalah jalan angkut produksi yang menghubungkan dari front kerja menuju ETO. Jalan angkut penelitian memiliki Panjang jalan 1956 m dengan kondisi jalan lebar tidak memenuhi standar dan ada kemiringan yang lebih dari 12%.

Dalam proses pengamatan, panjang jalan dibagi menjadi beberapa segmen agar dapat membantu dalam perhitungan rolling resistance dan grade resistance. Pada pembagian setiap segmen didasarkan oleh profil jalan, lebar jalan, kemiringan dan tikungan.

1. Lebar jalan angkut

Lebar jalan angkut terdiri dari lebar jalan pada tikungan, lurusan, tanjakan dan turunan pada proses pengangkutan dari front kerja menuju ETO. Perhitungan lebar jalan angkut menurut teori Walter F. Kaufman didapatkan sebesar 8,75 m kondisi jalan lurus dan untuk lebar kondisi jalan pada tikungan sebesar 14,25 m .

Table 2. Lebar Jalan Angkut

	Segmen Jalan	Lebar Jalan (m)	Profil Jalan	Keterangan
1	A-B	13,5	Jalan Lurus	Sesuai
2	B-C	11,9	Tikungan	Tidak Sesuai
3	C-D	10,7	Jalan Lurus	Sesuai
4	D-E	9,6	Jalan Lurus	Sesuai
5	E-F	10,1	Jalan Lurus	Sesuai

No	Segmen Jalan	Lebar Jalan (m)	Profil Jalan	Keterangan
6	F-G	12,2	Turunan	Sesuai
7	G-H	13,2	Turunan	Sesuai
8	H-I	16,3	Turunan	Sesuai
9	I-J	14,6	Tikungan	Sesuai
10	J-K	13,8	Jalan Lurus	Sesuai
11	K-L	10,9	Jalan Lurus	Sesuai
12	L-M	8,5	Jalan Lurus	Sesuai
13	M-N	8,1	Tikungan	Tidak Sesuai
14	N-O	6,45	Tikungan	Tidak Sesuai
15	O-P	11	Jalan Lurus	Sesuai

2. Kemiringan Jalan

Pada lokasi penelitian terdapat beberapa segmen jalan angkut yang mempunyai kemiringan lebih dari 12%. Dari hasil pengamatan di lokasi penelitian, kemiringan yang melebihi 12% berada pada jalan produksi dimana besar kemiringan

tertinggi adalah 22%. Ideal pada jalan angkut kemiringan tidak boleh melebihi 12% karena mempengaruhi *power* mesin, semakin besar kemiringan pada jalan angkut tingkat keamanannya semakin rendah. Dibawah ini merupakan tabel kemiringan jalan pada lokasi penelitian.

Table 3. Kemiringan Setiap Segmen Jalan Angkut

No	Segmen Jalan	Panjang Jalan (m)	Beda Elevasi (m)	grade (%)	Titik
1	A-B	172	19	-11	A
2	B-C	85	6	-7	B
3	C-D	270	26	-10	C
4	D-E	71	8	-11	D
5	E-F	348	30	-9	E
6*	F-G	161	27	-17	F
7*	G-H	144	31	-22	G
8	H-I	50	4	-8	H
9*	I-J	119	19	-16	I
10	J-K	77	7	-9	J
11*	K-L	71	9	-13	K
12	L-M	129	9	-7	L
13	M-N	99	9	-9	M
14	N-O	41	1	-1	N
15	O-P	121	12	-10	O

Keterangan : (-) Keadaan jalan menurun dan bermuatan

(*) *Grade* jalan lebih dari 12%

3. Kemampuan Produksi Alat Angkut

a. Waktu Edar Alat Angku

Waktu edar alat angkut adalah waktu yang dibutuhkan oleh alat angkut mulai dari kegiatan pemuatan bijih nikel , *dumping* dan sampai kembali pemuatan bijih nikel di *front* kerja, lama waktu edar erat kaitannya dengan jumlah produksi yang dihasilkan setiap jamnya. Waktu edar yang lama menyebabkan turunnya produktivitas. Berikut waktu edar rata-rata alat angkut dibawah ini :

Table 4. Waktu Edar Rata - Rata Alat Angkut

Waktu (menit)							Waktu Edar Alat Angkut (menit)	Ritase (rit)/jam
Manuver Tanpa muatan	Pemuatan	Angkut bermuatan	Tumpah	Kembali tanpa muatan	Manuver isi	antrian		
0,53	1,66	8,32	1,01	7,28	0,63	0,33	19,77	3,03

b. Produktivitas Alat Angkut

Pada lokasi penelitian, satu fleet pada front kerja terdiri dari satu alat muat Excavator Komatsu PC 300 8MO dan tujuh alat angkut UD Quester CWE 370. Efektivitas kerja alat angkut merupakan pengali dalam menentukan produktivitas teori alat angkut. Efektivitas kerja alat angkut pada lokasi

penelitian diketahui sebesar 6,2 jam. Pada Tabel. 5 dibawah ini dapat dilihat produktivitas alat angkut secara aktual dan teori. Data aktual mengenai produktivitas alat angkut UD Quester CWE 370 selama satu bulan mempunyai rata-rata sebesar 29,20 BCM/jam. Secara teori produktivitas alat angkut ialah 35,40 BCM/jam.

Table 5. Produksi Alat Angkut Aktual dan Teori

Produktivitas Aktual (BCM/Jam)	Produktivitas Teori (BCM/Jam)
29,20	35,40

4. Konsumsi Bahan Bakar Alat Angkut

Konsumsi bahan bakar actual merupakan biaya langsung yang harus dikeluarkan oleh perusahaan selama proses pengangkutan beroperasi. Konsumsi bahan bakar alat angkut yang tinggi menimbulkan

pembengkakan biaya jika tidak diimbangi dengan banyak produktivitas alat angkut. Dari data perusahaan diketahui bahwa konsumsi bahan bakar actual alat angkut yang beroperasi pada bulan Maret sebesar 13,63 liter/jam.

Table 6. Konsumsi Bahan Bakar Alat Angkut Bulan Maret 2021

No	Kode Unit Alat Angkut	Total Konsumsi Fuel (Liter)	Total Waktu Kerja (Jam)	Rata- Rata (Liter/Jam)
1	DT CW 01	1.524	157,80	9,66
2	DT CW 02	1.729	96,90	17,84
3	DT CW 03	1.807	163,50	11,05
4	DT CW 04	2.104	125,70	16,74
5	DT CW 05	1.443	150,15	9,61
6	DT CW 06	1.838	116,80	15,74
7	DT CW 07	2.152	145,95	14,74
Rata- Rata				13,63

5. Load Factor

Besarnya *load factor* dapat dihitung dengan menggunakan perbandingan besarnya jumlah rimpul yang terpakai dengan rimpul yang tersedia setiap *gear*. Pada jalan angkut produksi dari *front* kerja sampai dengan *ETO*, *dumptruck* UD Quester CWE 370 memiliki *load factor* berdasarkan perhitungan rimpul rata rata 0,16 untuk keadaan truk bermuatan dan 0,63 untuk keadaan truk tanpa muatan, dan untuk perhitungan *RPM* memiliki *load factot* rata – rata 0,36 untuk keadaan truk bermuatan

dan 0,85 untuk keadaan truk tanpa muatan. Besarnya *load factor* pada *dumptruck* akan mempengaruhi konsumsi bahan bakar, dengan pengertian bahwa *load factor* adalah faktor pengali untuk memperoleh daya mesin yang sesungguhnya digunakan oleh *dumptruck* tersebut. Pengambilan data dilakukan pada bulan Maret 2021 di PT. X, berdasarkan perhitungan didapatkan rasio bahan bakar aktual, teori dan standar yang ditetapkan oleh perusahaan tertera di Tabel 7 dibawah ini.

Table 7. Rasio Bahan Bakar Alat Angkut

No	Dumptruck UD Quester CWE 370	Produksi (BCM/Jam)	Konsumsi BBM (Liter/Jam)	Rasio BBM (Liter/BCM)
1	Standar yang ditetapkan Perusahaan	29,20	8,00	0,27
2	Aktual	29,20	13,63	0,47
3	Teori (rimpull)	29,20	12,10	0,41
4	Teori (RPM)	29,20	18,84	0,64

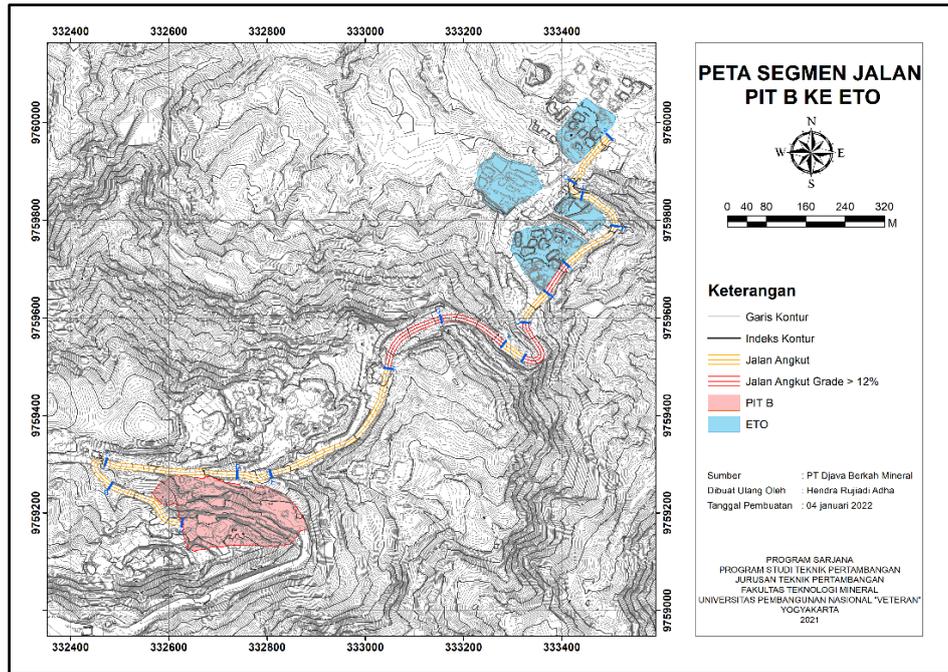
Perhitungan data untuk menentukan konsumsi bahan bakar menggunakan dua cara yaitu dengan menggunakan perhitungan rimpul dan rpm pada alat angkut. Dua metode ini digunakan sebagai pembandingan tingkat konsumsi bahan bakar yang mendekati dengan data aktual. Secara teori didapatkan bahwa konsumsi bahan bakar alat angkut UD Quester CWE 370 lebih besar pada konsumsi bahan bakar aktual.

Perhitungan rimpul untuk mengetahui konsumsi bahan bakar yang dipengaruhi oleh rimpul yang digunakan pada mesin berbanding dengan rimpul yang tersedia. Rimpul yang digunakan pada alat angkut berbanding lurus dengan *grade resistance* dan *rolling resistance* yang ada pada jalur angkut dari *front* kerja menuju *ETO*. Diketahui rata-rata konsumsi bahan bakar jalan angkut keadaan bermuatan adalah 2,62 liter/jam dan tanpa muatan 8,60 liter/jam. Selama 1 kali pemuatan (*1rite*) waktu alat angkut dengan keadaan bermuatan adalah 631 detik yang terdiri dari proses *hauling, maneuver dan dumping*. Sedangkan keadaan tanpa muatan yang terdiri dari *return empty dan maneuver* membutuhkan waktu selama 536 detik, selain itu alat angkut pada keadaan *idle time* juga berpengaruh pada tingkat konsumsi bahan bakar mempunyai rata-rata 119 detik terdiri dari proses *loading* dan antrian.

Analisis konsumsi bahan bakar dilakukan dengan penggunaan rimpul didapatkan hasil untuk jalan angkut pada saat keadaan bermuatan 2,62 liter/jam, tanpa muatan 8,60 liter/jam dan *idle time* 0,88 liter/jam. Pada keadaan tanpa muatan secara jelas konsumsi bahan bakar lebih tinggi pada jalan angkut daripada saat keadaan bermuatan, hal ini dikarenakan kemiringan jalan yang tinggi (>12%) ditemukan pada segmen jalan (F-G ; G-H ; dan K-L) membuat *grade resistance* bertambah. Secara teori didapatkan besar konsumsi bahan bakar untuk jalan angkut sebesar 12,10 liter/jam.

Analisis penggunaan RPM dilakukan pada alat angkut sebagai pembandingan dengan perhitungan rimpul. Pengukuran dilakukan dengan cara mencatat nilai rpm yang rata-rata muncul pada

setiap segmen jalan selama 2 jam pada masing-masing jalur jalan angkut. Diketahui pada saat pengamatan di lokasi penelitian alat angkut dengan kecepatan yang sama, saat kondisi muatan dibandingkan dengan kondisi tanpa muatan memiliki perbedaan ± 600 rpm. Alat angkut pada area *grade* >12% memiliki rata-rata penggunaan sebesar ± 1935 rpm. Semakin tua alat angkut maka semakin menurun performa yang dimiliki disbanding dengan performa pada keadaan baru. Konsumsi bahan bakar rata-rata setelah memperhitungkan kondisi kerja alat angkut yaitu 18,84 liter/jam untuk jalan angkut. Perbedaan hasil konsumsi bahan bakar berdasarkan penggunaan rpm dengan data aktual yaitu 5,21 liter/jam. Perbedaan yang sangat jauh ini disebabkan oleh belumnya mendapatkan rata-rata penggunaan rpm yang senyatannya dilapangan 100% sehingga dalam perubahan percepatan yang dihasilkan kurang representatif. Oleh karena itu, dalam menentukan konsumsi bahan bakar lebih mendekati pada perhitungan rimpul disbanding dengan penggunaan rpm dan dalam perhitungan usulan perbaikan konsumsi dan rasio bahan bakar menggunakan perhitungan rimpul.



Gambar 5. Peta Segmen Jalan PIT B ke ETO

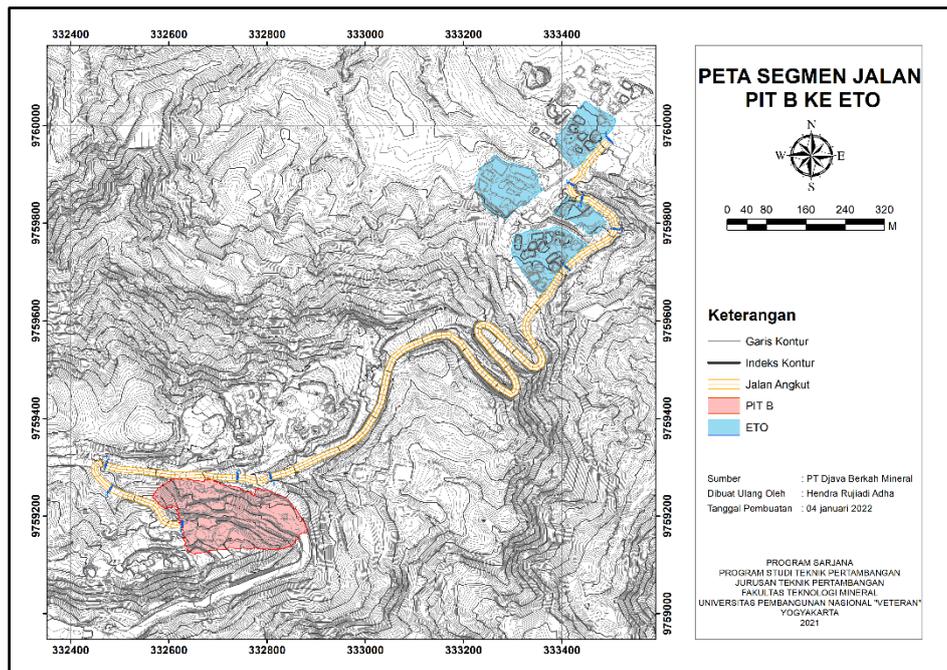
Bedasarkan data aktual di lapangan produktivitas yang dicapai ialah 29,20 BCM/jam. Konsumsi bahan bakar alat angkut yaitu 13,63 liter/jam, sehingga rasio bahan bakar sebesar 0,47 liter/BCM. Dari hasil data tersebut, rasio bahan bakar yang diperoleh masih lebih tinggi disbanding dengan standar perusahaan yaitu 0,27 liter/BCM. Terdapat du acara untuk menekan rasio bahan bakar yaitu dengan menekan konsumsi bahan bakar dan menambahkan produktivitas alat angkut. Dalam hal ini perlu adanya tindakan nyata dalam hal perbaikan kondisi jalan dan pengoptimalan kecepatan alat angkut. Perhitungan konsumsi bahan bakar setelah perbaikan *cycle time*

didapatkan nilai saat *hauling* pada jalan angkut yaitu 499,37 detik dengan kecepatan 16 km/jam, saat *return* dengan kecepatan 18 km/jam karena masih dapat ditangani oleh batas mesin pada gear dan tidak melewati ambang batas kecepatan maksimal.

Perubahan waktu saat *hauling* dan *return* berdampak juga terhadap rasio waktu kondisi alat angkut setiap satu jam yang mempengaruhi besar konsumsi bahan bakar terpakai dalam satu jam. Pada Tabel 8 dibawah ini menunjukkan hasil perbandingan usulan rasio bahan bakar setelah perbaikan dari segi kemiringan jalan , pelebaran jalan, dan perawatan khususnya di *area loading* dan *dumping*, kepada perusahaan.

Table 8. Rasio Bahan Bakar Alat Angkut Setelah Perbaikan

No	Dumptruck UD Quester CWE 370	Produksi (BCM/Jam)	Konsumsi BBM (Liter/Jam)	Rasio BBM (Liter/BCM)
1	Standar yang ditetapkan Perusahaan	29,20	8,00	0,27
2	Aktual	29,20	13,63	0,47
3	Teori (rimpull)	35,40	12,10	0,34
4	Teori (RPM)	35,40	18,85	0,53
5	Teori (rimpull) Setelah Perbaikan Grade 10%	43,75	12,45	0,28
6	Teori (rimpull) Setelah Perbaikan Grade 7%	36,30	12,35	0,34
7	Teori (rimpull) Setelah Perbaikan Grade 5%	29,68	9,88	0,33



Gambar 6. Peta Segmen Jalan PIT B ke ETO Setelah Perbaikan Dengan Grade 10%

KESIMPULAN

Dari hasil penelitian dan perhitungan analisis penggunaan konsumsi bahan bakar pada alat angkut UD Quester CWE Quester 370 didapatkan kesimpulan sebagai berikut :

1. Faktor-faktor yang menyebabkan penggunaan konsumsi bahan bakar adalah lebar jalan angkut, *grade resistance* dan *rolling resistance*, rpm khususnya rpm alat angkut UD Quester CWE 370 lebih besar digunakan pada area *grade* >12% dibandingkan dengan jalan lainnya sebesar ±600 rpm menyebabkan peningkatan bahan bakar, dan *idle time* menghabiskan bahan bakar sebesar 0,88 liter/jam

2. a. Konsumsi bahan bakar pada alat angkut UD Quester CWE 370.

Data aktual dari perusahaan pada jalan angkut adalah 13,63 liter/jam dan perhitungan konsumsi bahan bakar dilakukan dengan menggunakan rimpul yaitu 12,10 liter/jam.

- b. Rasio bahan bakar pada alat angkut UD Quester CWE 370 ialah:

Data aktual dari perusahaan pada jalan angkut adalah 0,47 liter/BCM dan perhitungan rasio bahan secara teori didapatkan dari perbandingan konsumsi bahan bakar dibanding dengan produktivitas berturut turut adalah 0,34 liter/BCM (*grade* aktual) ; 0,28 liter/BCM (*grade* 10%) ;

0,34 liter/BCM (*grade* 7%) ; dan 0,33 liter/BCM (*grade* 5%).

3. Usulan rekomendasi perbaikan kondisi jalan angkut dan pengoptimalan kecepatan alat angkut UD Quester CWE 370 yang didapatkan adalah konsumsi bahan bakar untuk jalan angkut dengan *grade* jalan 10% sebesar 12,45 liter/jam dan rasio bahan bakar setelah perbaikan didapatkan yaitu 0,28 liter/BCM dengan kondisi *grade* jalan 10%.

UCAPAN TERIMAKASIH

Penulis mengucapkan terimakasih kepada segenap pembimbing dalam hal membantu menyusun penelitian ini sehingga penelitian ini berjalan dengan lancar. Semoga hasil penelitian ini dapat bermanfaat bagi pembaca.

DAFTAR PUSTAKA

- Burger, P. A., 1996. Origins and Characteristic of Lateritic Deposits. *Prosiding nickel'96* PP 179 – 183 the australisian institute of mining and metallurgy. Meulbourne.
- Burt, C. 2014. *Model for Mining Equipment Selection*, Curtin University of Teknology, Perth, Australia.
- Cahit, H., Selahattin, K., Necip G, Tolga Q, Ibrahim G, Hasan S, Osman P., 2017. Mineralogy and genesis of the lateritic

- regolith related Ni-Co deposit of the Çaldağ area (Manisa, western Anatolia), Turkey. *Canadian Journal of Earth Science*.
- Coffey, J., Nikraz, H., dan Leek, C. 2015. Haul road rolling resistance and pavement condition. *Civil Engineering*, (16) : 12-22.
- Dindarloo, S.R., dan Irdemoosa, E.S. 2016. Determinant of fuel consumption in mining trucks. *Energy*, (112) : 232 – 240.
- Evans, L.R., Junior, J.D.M., Yates, K., Dudek, W., Holmes, J., Popio, J., Rice, D., and Salaani, M.K. 2009. Effect of Tire Rolling Resistance Levels on Traction, Treadwear, and Vehicle Fuel Economy. United States Department of Transportation.
- Gaspersz, V. 1991. Teknik Analisis dalam Penelitian Percobaan 2. Bandung : CV. Armico
- Golbasi, O., dan Kina, E. 2022. Haul truck fuel consumption modeling under random operating conditions. *Transportation Research Part D*, (102) : 1 - 21 .
- Harmmarstrom, U., Eriksson, J., Karlsson, R., Yahya, M.R. 2012. Rolling resistance model, fuel consumption model and the traffic energy saving potential from changed road surface conditions. VTI rapport 748A, Swedish National Road and Transport Research Institute (VTI). Linköping: Sweden
- Hartman, H. 1987. Introductory Mining Engineering. The University of Alabama. Tuscaloosa Alabama.
- Hermans, B. 2017. Propertis Geometri Silinder Motor Bakar, <http://www.google.com/geometrisilinder>, (diakses tanggal 28 Desember 2021).
- Hustrulid, W., dan Kutcha, M. 1998. Open Pit Mine Planning & Design Volume 1. Rotterdam.
- Indonesianto, Y. 2014. Pemindahan Tanah Mekanis. Program Studi Teknik Pertambangan, UPN 'Veteran' Yogyakarta:Yogyakarta.
- Kaufman, Walter , W., dan James , C.A. 1977. Design Of Surface Mine Haulage Roads. United States Bureau of mines: Washington DC.
- Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral. 2018. Kepmen ESDM Nomor 1827/K/30/MEM/2018 Tentang Pedoman Pelaksanaan Kaidah Teknik Pertambangan yang Baik. Indonesia
- Komatsu. 2009. Specifications and Application Handbook Edition 30. Komatsu, Japan.
- Lintjewas Lediyantje, Setiawan Iwan, dan Kausar Andrie Al. 2019. Profil Endapan Nikel Laterit di Daerah Palangga, Provinsi Sulawesi Tenggara. *Ris. Geo. Tam*, 29, (1): 91-104.
- Nainggolan, T.B, Hermansyah, G.M, Wijaya, P.H. 2017. Struktur Geologi Perairan Morowali – Teluk Kendari dari Hasil Interpretasi Penampang Migrasi Seismik 2D. *Geologi Kelautan*, 15 (1) : 33-48
- Nurrochman, B. 2019. Analisis Konsumsi Bahan Bakar Alat Komatsu HM 400-3R Pada Pengupasan Overburden Bulan Maret 2019 Tambang Batubara di Pit GS Jobsite LHI PT. Mitra Indah Lestari. Yogyakarta : UPN "Veteran" Yogyakarta.
- Patrick, C., Jarrad, Hamid, N., dan Colin, L. 2018. Haul Road Resistance and Pavement Condition. *Australian Journal of Civil Engineering*.
- Patrick, C., Jarrad. 2015. Mine Haul Rolling Resistance Influence and Impacts. Curtin University.
- Peurifoy, R.L. 1998. Construction Planning Equipment and Methods. McGraw-Hill: New York
- Pratiksa, D. 2019. Kajian Teknis Pengaruh Kemiringan Jalan Angkut Terhadap Konsumsi Bahan Bakar Truk Jungkit Pada Pengupasan Lapisan Penutup di Tambang Batubara PT. Satria Bahana Sarana Tanjung Enim. Sumatera Selatan : UPN "Veteran" Yogyakarta.
- Prodjosumarto, P. 1983. Pemindahan Tanah Mekanis. Departemen Tambang, Institut Teknologi Bandung, Bandung.
- Rusmana, E., Koswara, A., Simandjuntak, T.O., 1993. Peta Geologi Lembar Luwuk, Sulawesi, Skala 1:250.000. Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi.
- Scoot, W., Graeme. 1994. The Rolling Resistance of Articulated Dump Truck On Hauls Road. University of Edinburgh.
- Simandjuntak, T.O. dan Rusmana, E., 1997. Collision mechanism between the oceanic and continental terranes in the Southeast private arm of Sulawesi, eastern Indonesia. *Bulletin Geology Research and Development Centre*, 21, h. 109-125.
- Soofastei, A., Saïed Mostofa Aminossadati, Kizil Mehmet Siddik, and Knights Peter. 2016. Reducing Fuel Consumption of Haul Truck in Surfaces Mines Using Artificial Intelligence Models. University of Wollongong Australia.
- Sulistiyana, W. 2017. Perencanaan Tambang. Prodi Teknik Pertambangan. UPN

- “Veteran” Yogyakarta. Daerah Istimewa Yogyakarta.
- Sundari dan Woro., 2012, Analisis Data Eksplorasi Bijih Nikel Laterit Untuk Estimasi Cadangan dan Perancangan PIT pada PT. Timah Eksplorasi Di Desa Baliara Kecamatan Kabaena Barat Kabupaten Bombana Provinsi Sulawesi Tenggara, Universitas Nusa Cendana: Kupang.
- Supriatna, S., Sukardi, dan Rustandi, E. 1995. Geological Map Of The Samarinda Sheet, Kalimantan 1:250.000 Scale. Geological Research And Development centre 1995.
- Suwandhi, A. 2014. Perencanaan Jalan Tambang. Diktat Perencanaan Tambang Terbuka. Unisba: Bandung.
- Syafrizal, 2011. Karakterisasi Mineralogy Endapan Nikel Laterit di daerah Tinanggea Kabupaten Palangga Provinsi Sulawesi Tenggara. JTM. XVIII (4/2011)
- Tannant Dwayne and Regensburg Bruce. 2001. Guidelines for Mine Haul Road Design. University Of British Colombia: Canada.
- Tonggiroh, A., Mustafa, M., Suharto, 2012. Analisis Pelapukan Serpentin dan Endapan Nikel Laterit Daerah Pallangga Kabupaten Palangga Sulawesi Tenggara.
- Uicker, J .dan G. R. Pennock, 2003. Theory of Machine and Mechanism 3rd Edition, Oxford University Press. New York.
- Wang, Q., Zhang, R., Lv, S., dan Wang, Y. 2021. Open – pit mine truck fuel consumption pattern and application based on multi – dimensional features and XGBoost. Sustainable Energy Tecnologies and Assessment, (43) : 1 – 10.