

Evaluasi Jalan Tambang Berdasarkan Kerusakan Jalan Dalam Upaya Meningkatkan Travel Speed Alat Angkut Pada PT Putra Perkasa Abadi Jobsite PT Adaro Indonesia Tabalong Kalimantan Selatan

Figgo Febriawan^{1a}, Rika Ernawati, Shenny Linggasari¹, Aldio Kresna Pambayu¹, Aldin Ardian¹, Winda¹

¹UPN “Veteran” Yogyakarta

Jurusan Teknik Pertambangan, Fakultas Teknologi Mineral, UPN “Veteran” Yogyakarta,

Jl. SWK 104 (Lingkar Utara), Yogyakarta 55283 Indonesia

^aemail: 112200016@student.upnyk.ac.id

ABSTRACT

PT Putra Perkasa Abadi (PPA) is one of the contractor companies that cooperates with PT Adaro Indonesia which is engaged in coal mining. PT PPA implements an open mining system with the open pit method. PT PPA's activities at PT Adaro Indonesia's jobsite start from land clearing to coal transportation to the ROM stockpile. PT PPA's mining activities include unloading, loading, and transportation. One of the requirements for transportation activities is that adequate haul roads are required. Based on field observations, it was found that a segment of the road, specifically the haul road from the front to the disposal area, has experienced damage. This damage is attributed to the inability of the subgrade to support the vehicle load, thus necessitating an evaluation. The evaluation in this study employs a qualitative rolling resistance assessment, targeting a rolling resistance value of 2%. The qualitative rolling resistance assessment of the roads revealed rolling resistance values of approximately 3,1% on Jalan Spanyol and 3,2% on Jalan Monte Bawah. These values do not meet the company's target of 2%. The primary factors influencing the rolling resistance values are various types of road damage, including potholes, corrugation, ruts, loose material, and stoniness. This is due to the California Bearing Ratio (CBR) values of Jalan Spanyol and Jalan Monte Bawah, which are still below the minimum CBR requirement of 39% as specified in HD 785. The rolling resistance value improved to 2% after soil bearing capacity enhancement using the Giroud-Han method, thereby meeting the company's target. The average hauler speed increased following the improvement in soil bearing capacity. On Jalan Monte Bawah, the speed increased from 14.23 km/h (actual speed) to 20 km/h (improved speed), and on Jalan Spanyol, it increased from 22.35 km/h (actual speed) to 26.64 km/h (improved speed). According to the Komatsu 785 handbook, the maximum achievable speed for the hauler is 70 km/h."

Keywords: Qualitative Rolling Resistance Assessment, CBR, Rolling Resistance.

ABSTRAK

PT Putra Perkasa Abadi (PPA) adalah salah satu perusahaan kontraktor yang bekerja sama dengan PT Adaro Indonesia di sektor pertambangan batubara. PT PPA menerapkan sistem penambangan terbuka menggunakan metode open pit. Kegiatan operasional PT PPA di lokasi tambang PT Adaro Indonesia meliputi pembersihan lahan hingga pengangkutan batubara ke ROM stockpile. Aktivitas penambangan yang dilakukan oleh PT PPA mencakup pembongkaran, pemuatan, dan pengangkutan. Salah satu persyaratan penting dalam proses pengangkutan adalah ketersediaan jalan angkut yang memadai. Berdasarkan pengamatan di lapangan, ditemukan adanya kerusakan pada segmen jalan, khususnya pada jalan poros yang mengarah ke disposal. Kerusakan ini terjadi akibat tidak mampunya daya dukung tanah untuk menahan beban kendaraan, yang mengharuskan dilakukan evaluasi terhadap kondisi jalan. Evaluasi ini menggunakan metode qualitative rolling resistance assessment dengan target rolling resistance sebesar 2%. Hasil evaluasi menunjukkan bahwa nilai rolling resistance pada Jalan Spanyol mencapai 3,1, sementara pada Jalan Monte Bawah tercatat 3,2. Nilai tersebut masih lebih tinggi dari target yang ditetapkan perusahaan, yaitu 2%. Faktor utama yang mempengaruhi nilai rolling resistance adalah kerusakan berupa potholes, corrugation, ruts, loose material, dan stoniness. Hal ini terjadi karena nilai CBR (California Bearing Ratio) pada kedua jalan tersebut belum memenuhi standar CBR minimum yang dibutuhkan untuk kendaraan HD 785, yaitu sebesar 39%. Setelah dilakukan perbaikan pada daya dukung tanah menggunakan metode Giroud-Han, nilai rolling resistance berhasil diturunkan menjadi 2%, sesuai dengan target perusahaan. Sebagai hasil dari perbaikan tersebut, rata-rata kecepatan hauler mengalami peningkatan. Kecepatan hauler di Jalan Monte Bawah meningkat dari 14,23 km/jam (kecepatan aktual) menjadi 20 km/jam (kecepatan setelah perbaikan), sementara di Jalan Spanyol, kecepatan hauler meningkat dari 22,35 km/jam (kecepatan aktual) menjadi 26,64 km/jam (kecepatan setelah perbaikan). Kecepatan maksimum yang dapat dicapai oleh hauler, sesuai dengan handbook Komatsu 785, adalah 70 km/jam.

Kata Kunci: Qualitative Rolling Resistance Assessment, CBR, Rolling Resistance.

I. PENDAHULUAN

Batubara merupakan salah satu sumber daya alam terbesar di Indonesia, menjadikannya komoditas utama dalam memenuhi kebutuhan energi. Penyebaran cadangan batubara di Indonesia sebagian besar terdapat di Pulau Sumatera dan Kalimantan. Di Kalimantan sendiri, terutama di Provinsi Kalimantan Selatan, potensi sumber daya batubara banyak ditemukan di sepanjang Formasi Warukin (Akbar dan Wesli, 2016).

PT Putra Perkasa Abadi (PPA) adalah kontraktor pertambangan di Indonesia yang berfokus pada kegiatan pengupasan tanah penutup (*overburden*) dan produksi batubara. Salah satu lokasi operasi pertambangannya berada di Pit Wara, yang terletak di wilayah konsesi PT Adaro Indonesia, Kabupaten Tabalong, Provinsi Kalimantan Selatan, dengan luas IUP mencapai 23.922 hektare. PT PPA menerapkan sistem tambang terbuka, di mana metode ini digunakan untuk menggali dan mengangkut material *overburden* serta batubara dengan membangun jenjang-jenjang (*bench*) dalam proses penambangannya (Dachlan, 2005). Jalan angkut pada jenjang tersebut dirancang sedemikian rupa agar mampu menopang beban alat angkut berat (*Heavy Dump/HD*) saat melintas di jalan tambang (*in-pit haul road*). Selain itu, jalur angkut juga dibangun di luar area tambang untuk menghubungkan lokasi penambangan dengan tempat pembuangan (*ex-pit haul road*) (Handy dan Ardhika, 2023).

Kondisi infrastruktur jalan tambang sangat berkaitan erat dengan efisiensi penggunaan alat angkut dalam proses penambangan. Salah satu permasalahan utama di area pertambangan ini adalah kondisi geologi awal yang berupa lahan rawa, sehingga material tanahnya tergolong lunak. Hal ini diperkuat dengan hasil pengukuran nilai California Bearing Ratio (CBR) aktual jalan tambang yang berada dalam rentang 25%–36%. Nilai ini belum memenuhi standar daya dukung tanah minimum yang dibutuhkan untuk menopang beban HD 785, yaitu sebesar 8,6 kg/cm² atau setara dengan nilai CBR 39%. Akibatnya, permukaan jalan tambang tidak mampu menahan beban alat angkut dengan optimal, sehingga terjadi berbagai permasalahan seperti jalan yang bergelombang (*undulasi*), berlubang, serta mengalami penurunan daya dukung (*rutting*).

Penelitian ini difokuskan pada evaluasi kelayakan jalan angkut dengan mempertimbangkan daya dukung tanah sebagai faktor utama penyebab kerusakan jalan. Evaluasi ini bertujuan untuk meningkatkan kecepatan alat angkut, yang pada akhirnya akan mengurangi waktu edar alat dan meningkatkan produktivitas operasional secara keseluruhan.

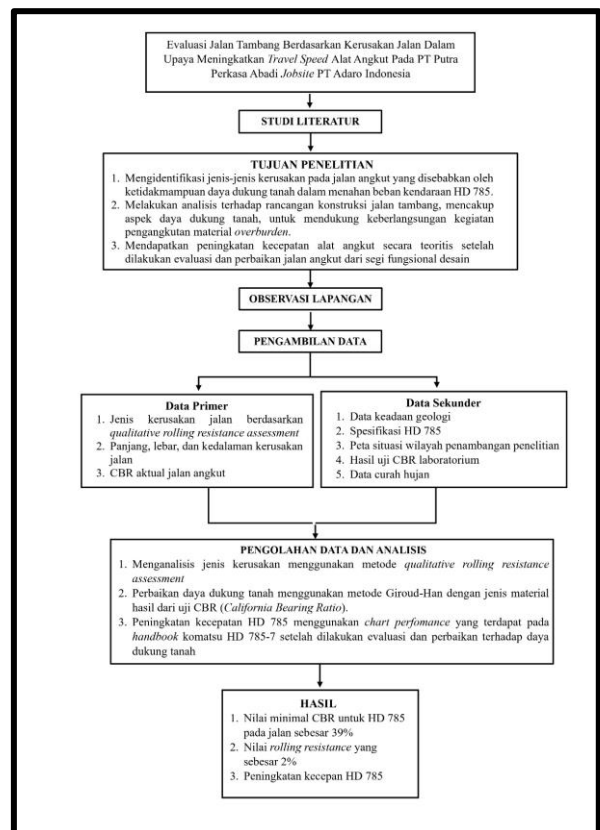
II. METODE

Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah pendekatan kuantitatif. Penelitian ini berfokus pada

penelitian terapan, yang bertujuan untuk memberikan solusi praktis terhadap masalah tertentu. Dalam pelaksanaannya, penulis menggabungkan teori dengan data lapangan, sehingga menghasilkan pendekatan yang tepat dalam menyelesaikan masalah tersebut.

Penelitian ini dilaksanakan dari tanggal 3 Mei 2024 hingga 3 Agustus 2024 di jobsite PT Putra Perkasa Abadi yang berlokasi di PT Adaro Indonesia. Lokasi penelitian terletak di Kecamatan Murung Pundak, Kabupaten Tabalong, Provinsi Kalimantan Selatan.

Adapun tahapan penelitian yang dilakukan adalah sebagai berikut:



Gambar 1. Tahapan Penelitian

2.1. Data dan Teknik Pengumpulannya

Dalam pelaksanaan penelitian ini, data yang diperoleh terdiri dari data primer dan data sekunder. Data primer diperoleh melalui pengamatan langsung di lapangan, sementara data sekunder didapatkan dari perusahaan, sumber internet, buku-buku, dan penelitian sebelumnya yang relevan dengan topik yang diangkat dalam penelitian ini. Data primer mencakup informasi yang diperoleh langsung melalui observasi di lapangan, seperti pengambilan data menggunakan Dynamic Cone Penetrometer (DCP) untuk mengetahui nilai daya dukung tanah (CBR) pada jalan tambang, pengukuran kecepatan aktual alat angkut, serta pengamatan terhadap lima jenis kerusakan berdasarkan metode *qualitative rolling resistance assessment*. Kerusakan yang diamati meliputi

corrugation (jalan bergelombang), potholes (jalan berlubang), dan rutting, dengan pengukuran meliputi kedalaman, panjang, dan lebar kerusakan, serta pengambilan data mengenai loose aggregate dan stoniness berdasarkan ukuran material lepas yang ada di badan jalan. Sementara itu, data sekunder diperoleh dari PT Putra Perkasa Abadi dan penelitian sebelumnya. Data yang diberikan oleh perusahaan mencakup informasi tentang curah hujan, peta topografi wilayah penelitian, dan data CBR laboratorium material Pit Wara. Data sekunder lainnya berasal dari penelitian terdahulu yang mencakup informasi geologi, seperti fisiografi, stratigrafi regional, dan struktur geologi.

2.2. Pengolahan Data

Dengan adanya data, maka diperlukan teknik pengolahannya, teknik pengolahan data sebagai berikut:

2.2.1. Qualitative Rolling Resistance Assessment

Metode evaluasi didasarkan pada penilaian visual terhadap 'derajat' kerusakan yaitu seberapa parah dan seberapa luas kerusakan jalan mempengaruhi total dari luas jalan tersebut. Kerusakan yang dianggap memiliki pengaruh terbesar pada nilai *rolling resistance* adalah: *potholes* (jalan berlubang), *corrugations* (jalan bergelombang), *rutting* (lendutan), *loose material*, dan *stoniness*. Untuk menilai kerusakan jalan ini didasarkan pada derajat atau luas kerusakannya. Deskripsi dari Tabel 1

Tabel 1. *Description of Defect Extent or Degree* (Thompson, 2011)

Deskripsi Tingkat Kerusakan Jalan					
Skor	1	2	3	4	5
<i>Extent</i>	Jarang terjadi, kurang dari 5% jalan terpengaruh.	Kerusakan berselang, antara 5-15% jalan yang terkena dampak.	Biasa kejadian, antara 16-30% jalan terpengaruh.	Sering kejadian, antara 31-60% jalan terpengaruh.	Luas kejadian, lebih banyak dari 60% dari jalan terkena dampak.
<i>Defect degree score</i>	1	2	3	4	5
<i>Potholes</i>	Pemukaan bercak ditandai, ukuran diameter lubang < 50mm.	Ukuran diameter lubang jalan 50-100 mm.	Diameter Lubang 100-400 mm dan berpengaruh terhadap kualitas berkendara.	Diameter Lubang jalan 400-800 mm, dihindari oleh sebagian besar kendaraan.	Diameter Lubang jalan > 800mm, membutuhkan pengurangan kecepatan atau penghindaran total.
<i>Corrugation</i>	Sedikit Bergelombang, sulit untuk dirasakan dalam kendaraan.	Jalan bergelombang terlihat di kendaraan.	Bergelombang sangat terlihat dan mengurangi kualitas berkendara.	Jalan bergelombang terlihat di truk pengangkut dan menyebabkan pengemudi mengurangi kecepatan.	Jalan bergelombang terlihat dalam truk dan menyebabkan pengemudi mengurangi kecepatan secara signifikan.
<i>Rutting</i>	Sulit untuk membedakan tanpa bantuan, diameter < 20mm.	Bisa dilihat dengan mata, diameter 20-50 mm.	Dapat dibedakan, diameter 50-80 mm.	Jelas dari kendaraan bergerak, diameter > 80 mm.	Parah, mempengaruhi stabilitas arah kendaraan.
<i>Loose material</i>	Sangat sedikit material lepas pada jalan, tebal < 5mm.	Jumlah material lepas sedikit Ketebalan 5-10 mm.	Material lepas Terdapat di jalan hingga ketebalan 10-20mm.	Terdapat material lepas yang signifikan pada jalan, berukuran 20-40mm.	Ukuran material lepas > 40mm.
<i>Stoniness</i>	Beberapa batu menonjol, tapi hampir tidak terasa di kendaraan.	Batu menonjol dan terasa dalam kendaraan.	Batu menonjol dan berpengaruh terhadap kualitas berkendara di kendaraan tapi masih dapat diterima.	Batu menonjol dan kadang-kadang membutuhkan penghindaran dari kendaraan.	Batu yang menonjol membutuhkan penghindaran dari kendaraan.

Bobot kerusakan : *extent x defect degree score*.....(1)

2.2.2. Distribusi Beban dan Luas Bidang Kontak

Perhitungan luas bidang kontak dapat dihitung dengan menggunakan rumus berikut :

$$\text{Luas bidang kontak (in)}^2 = \frac{0,9 \times \text{Beban Pembebanan Pada Roda (lb)}}{\text{Tekanan Dalam Ban (Psi)}} \quad \text{.....(2)}$$

Perhitungan distribusi beban dapat dihitung dengan menggunakan rumus berikut :

$$\text{Beban diterima jalan} = \frac{\text{Beban Pada Tiap Roda (lb)}}{\text{Contact Area (In}^2\text{)}} \quad \text{.....(3)}$$

2.2.3. Kemiringan Jalan Angkut

Perhitungan kemiringan jalan angkut dapat dihitung dengan menggunakan rumus :

$$\text{Grade} = \frac{\Delta h}{\Delta x} \times 100\% \quad \text{.....(4)}$$

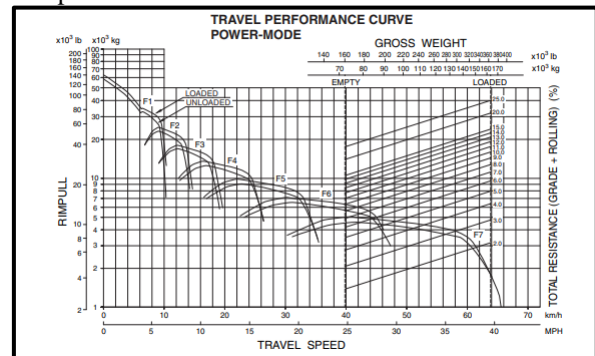
Keterangan :

Δh = Beda tinggi antara 2 titik yang diukur (m)

Δx = Jarak datar antara 2 titik yang diukur (m)

2.2.4. Rimpull

Rimpull yang tersedia pada kendaraan dapat dihitung menggunakan *chart performace* yang didapatkan melalui *handbook* komatsu HD -785:



Gambar 2. Tahapan Penelitian (*Komatsu HD 785*)

Adapun data yang diinputkan kedalam *char performance* tersebut meliputi :

Total Resistance :

$$\text{Rolling resistance} + \text{Grade} \quad \text{.....(5)}$$

Gross Weight

2.2.5. Rolling Resistance

Gaya gesek yang dihasilkan antara ban truk alat angkut dengan jalan.

Tabel 2. Nilai Tahanan Gelinding Berdasarkan Karakteristik Jalan (*R.J Thompson, 2013*)

Rolling resistance (%)	Road surface conditions (built from unbound gravel materials)
2	Strong layerworks and hard, compacted (stabilised) well-built and maintained road, no tyre penetration/deflection discernable
2-3	Intermediate strength layerworks, compacted (stabilised), well-built and frequently maintained road, with minimal (<25mm) tyre penetration/deflection
3-5	Weak layerworks or surfacing material, 25-50mm tyre penetration/deflection, rutted and poorly maintained
5-8	Weak layerworks or surfacing material, 50-100mm tyre penetration/deflection, rutted and poorly maintained

Pada penelitian kali ini karena amblasan ban diketahui, maka perhitungan *rolling resistance* dapat dihitung menggunakan rumus (Peurifoy, 1995):

$$\text{RR} = [40 + (30 \times \text{TP})] \times \text{GVW} \quad \text{.....(6)}$$

Keterangan :

RR = *rolling resistance in pounds*

TP = *tire penetration in inches*

GVW = *gross vehicle weight in tons*

2.2.6. Grade Resistance

Gaya yang berlawanan ataupun searah dengan arah gerak roda yang diakibatkan kemiringan jalan yang dilalui oleh alat mekanis.

$$\text{Grade Resistance} = 20 \text{ lb/ton} \times \text{grade} (\%) \times W \dots\dots\dots (7)$$

Keterangan :

Grade = kemiringan jalan angkut (%)

W = berat kendaraan (ton)

2.2.7. Perhitungan Metode Giroud-Han

Metode ini diterapkan untuk merancang lapisan konstruksi perkerasan jalan tambang guna perbaikan subgrade (Suwandi, 2004). Dalam perencanaan ini, digunakan satu jenis kendaraan dengan muatan terberat sebagai acuan. Tahapan analisis perencanaan tebal perkerasan jalan tambang menggunakan metode Giroud-Han adalah sebagai berikut:

a) Menghitung radius kontak ban kendaraan dengan lapisan perkerasan.

$$r = \sqrt{\frac{P}{\pi \times p}} \dots\dots\dots (8)$$

Keterangan :

P = beban roda

P = tekanan dalam ban

$\pi = 3,14$

r = radius kontak (m)

b) Menghitung daya dukung *subgrade* (tanah dasar)

$$P_{h=0} = (S/F_s) \cdot \pi \cdot r^2 \cdot N_c \cdot F_c \cdot \text{CBR}_{sg} \dots\dots\dots (9)$$

Keterangan:

$P_{h=0}$ = daya dukung *subgrade* apabila tebal *base* adalah nol (kN);

S = *rutting* yang diizinkan (mm);

F_s = faktor yang nilainya 75 mm;

r = radius bidang kontak (m);

N_c = faktor daya dukung (*bearing capacity factor*);

F_c = faktor yang nilainya setara dengan 30 Kpa;

CBR_{sg} = nilai CBR *subgrade* (%).

Nilai N_c (faktor daya dukung) yang digunakan dapat dilihat pada tabel 3 berikut :

Tabel 3. Nilai N_c untuk berbagai macam perkuatan

Nilai N_c	Jenis Perkuatan
3,14	tanpa perkuatan geosintetik
5,14	dengan perkuatan geotekstil
5,71	dengan perkuatan geogrid

(sumber : Teknologi dan Manajemen Pemeliharaan Jalan Tambang, Djarwadi, 2012)

c) Menghitung tebal *base course*

$$h = \frac{1,26 + (0,661 - 1,46 J) \left(\frac{r}{h} \right)^{1,5} \log Na}{F_e} \sqrt{\frac{P}{M_{bc} \cdot N_c \cdot F_c \cdot \text{CBR}_{sg}}} \dots\dots\dots (10)$$

Keterangan:

h = tebal *base course* (m);

r = radius kontak (m);

J = *apperture stability modulus geogrid* (apabila desain tanpa perkuatan *geogrid*, J = 0);

N = volume lalu lintas selama umur layan;

F_e = faktor rasio modulus;

P = beban roda (kN);

M_{bc} = koefisien mobilitas daya dukung;

N_c = faktor daya dukung;

F_c = faktor yang nilainya 30 Kpa.

d) Perhitungan nilai R_E (batas rasio modulus)

$$R_E = \min \left(\frac{3,48 \cdot \text{CBR}_{bc}^{0,3}}{\text{CBR}_{sg}}, 5,00 \right) \dots\dots\dots (11)$$

Keterangan :

CBR_{sg} = nilai CBR *subgrade* (%);

CBR_{bc} = nilai CBR *base course* (%).

e) Perhitungan nilai F_E (faktor rasio modulus).

$$F_E = 1 + 0,204 (R_E - 1) \dots\dots\dots (12)$$

Keterangan :

R_E = batas rasio modulus

f) Perhitungan nilai m (koefisien mobilitas daya dukung/*bearing capacity mobilization modulus*).

$$M_{bc} = \left(\frac{S}{F_s} \right) \left(1 - \epsilon \exp \left(-\omega \left(\frac{r}{h'} \right)^n \right) \right) \dots\dots\dots (13)$$

Keterangan :

S = *rutting* izin (mm);

F_s = konstanta yang nilainya 75 mm;

ω = konstanta yang nilainya 1,00;

ϵ = konstanta yang nilainya 0,90;

n = konstanta yang nilainya 2,00;

r = radius bidang kontak (m);

h' = asumsi awal tebal *base course* (m).

III. HASIL



Sumber: PT Putra Perkasa Abadi, 2024

Gambar 3. Lokasi Penelitian

3.1. Spesifikasi dan Analisis Kendaraan Terberat

Pada lokasi penelitian digunakan alat angkut terbesar yaitu HD 785 yang memiliki spesifikasi terhadap penentuan lebar jalan angkut minimum pada keadaan lurus dan tikungan.

Lebar alat = 6,885 m

Jarak roda depan dan roda belakang = 4,950 m

Jarak bagian belakang dan roda belakang = 3,190 m

Jarak bagian depan & roda depan = 2,150 m

Lebar jejak roda depan = 4,325 m
 Sudut penyimpangan roda depan = 41°
 Perhitungan distribusi beban dan luas bidang kontak dihitung menggunakan persamaan (1) dan (2). Sehingga didapatkan hasil seperti pada tabel 4.

Tabel 4. Spesifikasi beban HD 785

Distribusi beban komatsu HD 785-7	Wight	Convert to lb
Berat alat angkut kosong	72 ton	158732,83 lb
Berat alat angkut bermuatan	170ton	374785.85 lb
Distribusi beban ban depan (kosong)	12,24 ton	26984.58 lb
Distribusi beban ban depan (bermuatan)	28,9 ton	63713.59 lb
Distribusi beban ban belakang (kosong)	11,88 ton	26190.92 lb
Distribusi beban ban belakang (bermuatan)	28,05ton	61839.66 lb

Tabel 5. Distribusi beban HD 785

Beban Roda depan	Beban Roda Belakang
34%	66%
57,8 ton	112,2 ton
28,9 ton	28,05 ton
Beban Titik Roda	Beban Titik Roda
283,509 KN	275,1705 KN
Convert To lb	Convert To lb
63735,66 lb	61861,08 lb
Contact Area (In ²) =	521,4736 In ²
Beban yang diterima jalan (lb/In ²) =	122,22 In ²
CBR	39 %

Sesuai dengan perhitungan CBR minimum untuk dilalui HD 785 dibutuhkan daya dukung tanah sebesar 8,6 kg/cm². Distribusi beban alat angkut komatsu HD 785-7 pada masing masing roda dapat diketahui dengan menggunakan rumus umum distribusi beban dimana beban alat pada poros depan

atau belakang dibagi dengan jumlah ban. Diketahui jumlah ban pada depan *dump truck* Komatsu HD 785-7 terdapat 2 ban dan di bagian belakang ada 4 ban. Sehingga diperoleh distribusi beban maksimum pada poros depan angkut sebesar 63713,59 lbs dan distribusi beban pada poros belakang 61839,66 lbs.

3.2. Qualitative Roling Resistance Assessment

Hasil pengamatan yang telah dilakukan, terjadi kurang lancarnya kegiatan pengangkutan dikarenakan terdapat kondisi kerusakan yang meliputi *potholes* (jalan berlubang), *corrugations* (jalan bergelombang), *rutting* (lendutan), *loose material*, dan *stoniness*. Jenis-jenis kerusakan tersebut mengakibatkan tingginya nilai *rolling resistance* sehingga berdampak pada perlambatan kecepatan pada kedua jalan tersebut. Hasil penilaian menggunakan metode *qualitative rolling resistance asesment* dapat dilihat pada Tabel 8 dan Tabel 9.

Tabel 6. Data Jalan Monte Bawah

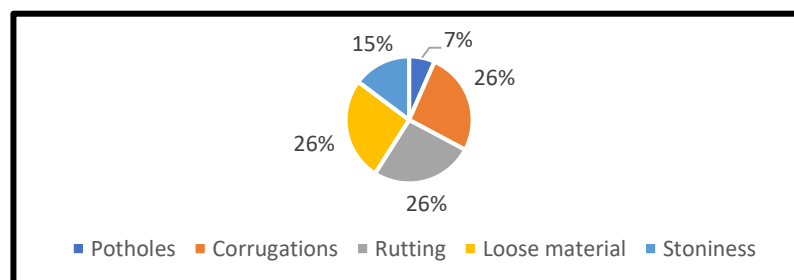
Tanggal Inspeksi	1 Juli 2024
Nama jalan	Jalan Monte Bawah
Station / km awal	0
Station / km akhir	850
Panjang hauling road	850 m
Panjang sampel URCI	850 m
Lebar hauling road	25 m
Luas jalan sampel	22500 m ²

Tabel 7. Data Jalan Spanyol

Tanggal Inspeksi	1 Juli 2024
Nama jalan	Jalan Spanyol
Station / km awal	0
Station / km akhir	700
Panjang hauling road	700m
Panjang sampel URCI	700m
Lebar hauling road	25m
Luas jalan sampel	20000m ²

Tabel 8. Kerusakan pada Jalan Spanyol

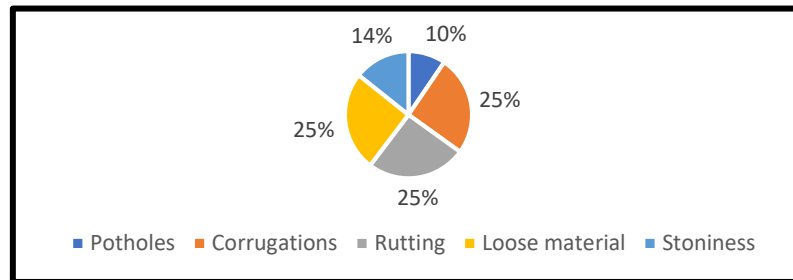
Defect	RDS (Rolling Resistance)		
	Degree (1-5)	Extent (1-5)	Defect score
Potholes	2	x	2
Corrugations	4	x	4
Rutting	4	x	4
Loose material	4	x	4
Stoniness	3	x	3
Total Roughness Score (RDS)			61
Estimasi nilai rolling resistance (%)			3,1



Gambar 4. Nilai URCI Jalan Spanyol

Tabel 9. Kerusakan pada Jalan Monte Bawah

Defect	RDS (Rolling Resistance)		
	Degree (1-5)	Extent (1-5)	Defect score
Potholes	2	x	3
Corrugations	4	x	4
Rutting	4	x	4
Loose material	4	x	4
Stoniness	3	x	3
Total Roughness Score (RDS)			63
Estimasi nilai rolling resistance (%)			3,2



Gambar 5. Nilai URCI Jalan Monte Bawah

3.3. Uji DCP (Dynamic Cone Penetrometer)

Pengukuran nilai CBR dilakukan menggunakan alat DCP (Dynamic Cone Penetrometer) pada setiap segmen jalan di Jalan Spanyol dan Jalan Monte Bawah.

Tabel 10. Nilai CBR aktual Jalan Spanyol

Station	CBR (%)	
	Jalur bermuatan	Jalur tidak bermuatan
0-50	31	25
50-100	33	25
100-150	32	28
150-200	31	25
200-250	33	28
250-300	34	28
300-350	34	25
350-400	34	30
400-450	35	30
450-500	35	30
500-550	36	25
550-600	36	28
600-650	36	30
650-700	36	31

Tabel 11. Nilai CBR aktual Jalan Monte Bawah

Station	CBR(%)	
	Jalur bermuatan	Jalur tidak bermuatan
0-50	32	31
50-100	28	25
100-150	31	28
150-200	30	25
200-250	28	28
250-300	30	30
300-350	34	30
350-400	34	30
400-450	30	25
450-500	30	28
500-550	34	28

550-600	34	25
600-650	25	25
650-700	25	25
700-750	28	25
750-800	28	31
800-850	30	30

Berdasarkan tabel 10 dan 11 nilai CBR aktual pada masing-masing jalan belum sesuai dengan nilai CBR minimum HD 785 (100 T) yaitu sebesar 39%. Oleh karena itu perlu dilakukannya perbaikan terhadap nilai CBR.

3.4. Grade Jalan Angkut

Menurut peraturan TS-AI-PRO-06-003, kemiringan jalan harus kurang dari 8%. Berdasarkan data yang diperoleh, terdapat beberapa segmen jalan yang tidak memenuhi ketentuan tersebut. Pada Jalan Spanyol, ditemukan 1 segmen yang tidak memenuhi syarat, sementara di Jalan Monte Bawah terdapat 5 segmen yang mengalami hal serupa. Perbaikan grade jalan dari front menuju disposal perlu dilakukan, karena kemiringan jalan yang terlalu curam dapat memengaruhi kecepatan truk, yang pada gilirannya akan memperpanjang waktu edar dan menurunkan produktivitas.

Tabel 12. Grade aktual Jalan Spanyol.

Station	Panjang		Grade sebelum perbaikan (%)
	m	km	
0-50	50	0,05	-0,24
50-100	50	0,05	-1,02
100-150	50	0,05	1
150-200	50	0,05	4,02
200-250	50	0,05	6,76

250-300	50	0,05	6,38
300-350	50	0,05	6,3
350-400	50	0,05	2,85
400-450	50	0,05	1,94
450-500	50	0,05	2,83
500-550	50	0,05	4,21
550-600	50	0,05	4,21
600-650	50	0,05	7,53
650-700	50	0,05	10,18

Tabel 13. *Grade* aktual Jalan Monte Bawah.

Station	Panjang		Grade sebelum perbaikan (%)
	m	km	
0-50	50	0,05	7,02
50-100	50	0,05	8,61
100-150	50	0,05	4
150-200	50	0,05	6,4
200-250	50	0,05	6,77
250-300	50	0,05	7,15
300-350	50	0,05	6,21
350-400	50	0,05	7,13
400-450	50	0,05	7,35
450-500	50	0,05	8,00
500-550	50	0,05	8,56
550-600	50	0,05	7,76
600-650	50	0,05	5,59
650-700	50	0,05	6,04
700-750	50	0,05	7,94
750-800	50	0,05	9,57
800-850	50	0,05	9,94

3.5. Kecepatan Aktual HD 785

Beberapa faktor yang memengaruhi kecepatan hauler antara lain faktor geometri desain dan fungsional desain. Geometri desain yang dapat mempengaruhi kecepatan hauler mencakup kemiringan jalan, superelevasi, dan radius tikungan. Sementara itu, faktor fungsional desain yang berperan dalam memengaruhi kecepatan hauler adalah daya dukung tanah dan kualitas perkerasan jalan. Jika daya dukung tanah dan sistem perkerasan jalan tidak mampu menahan beban yang diterima, hal ini dapat menyebabkan kerusakan pada jalan yang berdampak pada rimpull dan berujung pada penurunan kecepatan hauler.

Tabel 15. Kecepatan HD 785 pada Jalan Spanyol

STA	Grade (%)	TR (lb)	Gear	Kecepatan maks (km/h)
0-50	-0.24	10,234	7	40
50-100	-1.02	7,582	7	40
100-150	1	14,450	5	35
150-200	4.02	24,718	4	27
200-250	6.76	49,334	1	11
250-300	6.38	48,042	1	11
300-350	6.3	38,590	2	14
350-400	2.85	30,940	3	20
400-450	1.94	23,766	4	27

450-500	2.83	26,792	3	20
500-550	4.21	31,484	3	20
550-600	4.21	31,484	3	20
600-650	7.53	42,772	2	14
650-700	10.18	45,662	2	14

Tabel 14. Kecepatan HD 785 pada Jalan Monte Bawah

STA	Grade (%)	TR (lb)	Gear	Kecepatan maks (km/h)
0-50	7,02	34.918	2	14
50-100	8,61	40.324	2	14
100-150	4	24.650	4	27
150-200	6,4	32.810	3	20
200-250	6,77	34.068	3	20
250-300	7,15	35.360	2	14
300-350	6,21	46.444	2	14
350-400	7,13	49.572	1	11
400-450	7,35	50.320	1	11
450-500	8	52.530	1	11
500-550	8,56	54.434	1	11
550-600	7,76	51.714	1	11
600-650	5,59	44.336	2	14
650-700	6,04	45.886	2	14
700-750	7,94	52.326	1	11
750-800	9,57	57.868	1	11
800-850	9,94	44.846	2	14

Berdasarkan tabel 17 dan 18 didapatkan kecepatan rata-rata hauler pada Jalan Spanyol saat hauler bermuatan sebesar 22,35 km/jam. Pada Jalan Monte Bawah didapatkan nilai kecepatan rata-rata sebesar 14,2 km/jam.

IV. PEMBAHASAN

4.1. Rekomendasi Rancangan Konstruksi Jalan Tambang

4.1.1. Tebal Perkerasan Metode Giroud-Han

Kurangnya nilai CBR (*California Bearing Ratio*) dari 39% pada setiap segmen baik pada Jalan Spanyol dan Jalan Monte Bawah mengharuskan adanya penanganan pada jalan tersebut salah satu metode yang digunakan adalah dengan penambahan ketebalan *base course* dengan menggunakan metode Giroud-Han.

Berdasarkan perhitungan tebal perkerasan menggunakan metode Giroud-Han dapat dilakukan pengolahan data sebagai rekomendasi struktur ketebalan lapisan jalan menggunakan rumus dari persamaan 8 – 13 maka diperoleh hasil rekomendasi tebal *base course* sesuai dengan tabel 16 dan 17.

Tabel 16. Tebal Perkerasan Jalan Spanyol Menggunakan Metode Giroud-Han

Station	CBR Aktual (%)	Daya dukung subgrade (KN)	Tebal base course(m)
0-50	31	369,79	0,5

50-100	33	393,65	0,47
100-150	32	381,72	0,49
150-200	31	369,79	0,5
200-250	33	393,65	0,47
250-300	34	405,58	0,46
300-350	34	405,58	0,46
350-400	34	405,58	0,46
400-450	35	417,50	0,45
450-500	35	417,50	0,45
500-550	36	429,43	0,44
550-600	36	429,43	0,44
600-650	36	429,43	0,44
650-700	36	429,43	0,44

Tabel 17. Tebal Perkerasan Jalan Monte Bawah Menggunakan Metode Giroud-Han

Station	CBR Aktual (%)	Daya dukung subgrade (KN)	Tebal base course(m)
0-50	32	381,72	0,49
50-100	28	334,00	0,56
100-150	31	369,79	0,5
150-200	30	357,86	0,52
200-250	28	334,00	0,56
250-300	30	357,86	0,52
300-350	34	405,58	0,46
350-400	34	405,58	0,46
400-450	30	357,86	0,52
450-500	30	357,86	0,52
500-550	34	405,58	0,46
550-600	34	405,58	0,46
600-650	25	298,22	0,62
650-700	25	298,22	0,62
700-750	28	334,00	0,56
750-800	28	334,00	0,56
800-850	30	357,86	0,52

Nilai CBR yang direncanakan dalam penelitian ini memiliki nilai CBR minimum sebesar 39 %. Jumlah kendaraan selama umur layanan adalah 1500 kendaraan/hari. Untuk tebal lapis perkerasan tanpa perkuatan geotekstil, berdasarkan Persamaan 13 dengan mengambil *rutting* izin sebesar 75 mm, diperoleh daya dukung tanah sesuai dengan tabel 12 dan 13. Hasil yang diperoleh kurang dari beban roda terberat (465,22 kN), sehingga diperlukan penambahan ketebalan lapisan *base course*. Perhitungan tebal lapisan *base* dilakukan berdasarkan Persamaan 8-13. Setelah dilakukan perhitungan dengan mengambil *rutting* izin sebesar 75 mm dan nilai N_c (faktor daya dukung) tanpa perkuatan geotekstil sebesar 3,14, diperoleh hasil tebal lapisan *base* tanpa perkuatan geotekstil seperti diperlihatkan pada Tabel 16 dan 17.

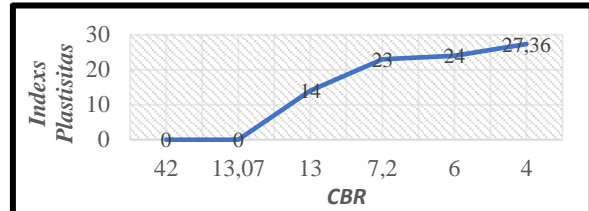
4.1.2. Klasifikasi Material PIT Wara

Dari hasil Tabel 18 dan Gambar 6 dapat disimpulkan bahwa semakin besar nilai *index plastisitas* maka nilai CBR akan semakin kecil hal ini dikarenakan selisih yang tinggi dari nilai batas plastis dan batas cair sehingga mengakibatkan nilai kembang

susutnya tidak stabil dan membuat nilai CBR semakin kecil.

Tabel 18. Hasil Uji CBR Laboratorium

Bore Hole	CBR(%)	IP (Index Plastisitas)	LL (Liquid Limit)	PL (Plastis Limit)
EWT Roof W100	4	27,36	46,7	19,34
JPI HW Roof Wc	6	23,935	45,08	21,145
Central Roof WD	13	23,315	42,1	18,785
EWT Floor W100	42	0	0	0
EWT Roof W100	13,07	0	0	0
JPI LW Floor W100	7,2	13,905	28,7	12,555



Gambar 6. Hubungan Antara Nilai CBR dan Index Plastisitas

Berdasarkan hasil pengujian CBR laboratorium pit wara, material dari EWT *floor* 100 masuk kedalam kriteria lapisan struktur jalan sebagai *base course* karena memiliki nilai CBR lebih dari 39% dimana lapisan pondasi sangat penting dalam menyebarkan beban roda kendaraan ke tanah dasar sehingga diperlukan nilai CBR yang sangat baik. Material EWT *floor* 100 digunakan sebagai material penambah *base course* berdasarkan perhitungan ketebalan *base course* berdasarkan metode Giroud-Han.

4.1.3. Rekomendasi Perbaikan Grade Jalan

Pada rancangan jalan angkut sering dijumpai tinggi tanah permukaan yang belum sesuai dengan kemiringan jalan yang diinginkan. Oleh karena itu perlu adanya penyesuaian, yaitu dengan melakukan penggalian atau penimbunan tanah permukaan sehingga dihasilkan kemiringan jalan yang diinginkan. Berdasarkan pengamatan di lapangan dan hasil pengukuran dengan menggunakan software civil 3d, didapatkan bahwa pada setiap station yang ada pada tabel 10 dan 11 terdapat penyesuaian grade jalan.

Tabel 19. Grade rencana Jalan Spanyol

Station	Grade sesudah perbaikan (%)	Grade sebelum perbaikan (%)
0-50	-0,24	-0,24
50-100	-1,02	-1,02
100-150	1,00	1
150-200	4,02	4,02
200-250	6,75	6,76
250-300	5,75	6,38
300-350	6,19	6,3
350-400	2,71	2,85
400-450	1,89	1,94
450-500	3,49	2,83
500-550	4,49	4,21
550-600	5,56	4,21
600-650	7,68	7,53
650-700	7,92	10,18

Tabel 20. *Grade* rencana Jalan Monte Bawah

Station	Grade sesudah perbaikan (%)	Grade sebelum perbaikan (%)
0-50	4,22	7,02
50-100	7,12	8,61
100-150	5,12	4
150-200	7,46	6,4
200-250	7,65	6,77
250-300	7,15	7,15
300-350	6,21	6,21
350-400	7,13	7,13
400-450	7,95	7,35
450-500	7,96	8,00
500-550	7,95	8,56
550-600	7,81	7,76
600-650	7,13	5,59
650-700	7,77	6,04
700-750	7,95	7,94
750-800	6,71	9,57
800-850	7,84	9,94

Perbaikan nilai kemiringan jalan dilakukan dengan menggunakan metode *cut and fill*. Volume *cut and fill* didapatkan dengan menggunakan *software civil 3d* untuk volume *cut and fill* terdapat pada tabel 12 dan 13.

Tabel 21. Volume *Cut and Fill* Jalan Monte Bawah

Segmen	Elevasi		Ket	Total volume fill (m ³)	Total volume cut (m ³)
	Awal	Perbaikan			
1	25	28,509	fill	14562,05	1676,95
2	28,509	32,415	cut		
3	32,825	34,818	cut		
4	34,818	38,07	fill		
5	38,004	39,15	cut		
6	41,404	45	fill		
7	44,895	46,84	fill		
8	48,087	51,653	cut		
9	51,653	55,627	fill		
10	55,329	59,607	fill		
11	59,328	63,58	fill		
12	63,608	67,487	cut		
13	67,487	71,05	fill		
14	70,281	74,936	fill		
15	73,301	78,909	fill		
16	77,27	82,887	fill		
17	82,054	85,993	fill		

Tabel 22. Volume *Cut and Fill* Jalan Spanyol

Segmen	Elevasi		Ket	Total volume fill (m ³)	Total volume cut (m ³)
	Awal	Perbaikan			
1	52,993	52,993		6924,15	6808,875
2	52,86	52,86			
3	52,352	52,352			
4	52,852	52,852			

5	54,866	54,866	
6	58,246	58,253	cut
7	61,438	59,567	cut
8	64,587	64,212	cut
9	66,013	65,568	cut
10	66,982	66,512	cut
11	68,396	68,289	cut
12	70,502	70,502	
13	72,607	76,281	fill
14	76,364	79,808	

4.2. Peningkatan Kecepatan Alat Angkut Setelah Dilakukan Perbaikan.

Hasil setelah dilakukan perbaikan baik dari segi geometri jalan seperti *grade* jalan, *superelevasi*, dan *crossfall* serta kerusakan jalan meliputi *potholes* (jalan berlubang), *corrugations* (jalan bergelombang), *rutting* (lendutan), *loose material*, dan *stoniness* dan drainase dengan cara rekomendasi perbaikan daya dukung tanah pada Jalan Spanyol dan Jalan Monte Bawah, dan perbaikan nilai *grade* jalan yang melebihi dari 8% dari hal-hal tersebut yang mengakibatkan HD 785 tidak dapat melaju secara optimal.

Kondisi setelah dilakukan perbaikan menunjukkan adanya perbaikan kecepatan dari kondisi aktual. Didapatkan hasil kecepatan perbaikan untuk Jalan Monte Bawah (muatan) dari 13,47km/jam menjadi 17km/jam dan untuk sisi kosongan didapatkan dari 28km/jam menjadi 30,65km/jam. Sedangkan untuk Jalan Spanyol didapatkan hasil dari sisi muatan sebesar 21,9km/jam menjadi 25km/jam dan untuk sisi kosongan 36km/jam menjadi 37km/jam.

Perubahan ini dikarenakan berkurangnya kerusakan yang terjadi pada permukaan jalan tambang seperti berkurangnya lendutan (*rutting*), jalan bergelombang dan jalan berlubang (*pothole*), sehingga dapat mengurangi waktu bagi alat angkut untuk menurunkan kecepatannya. Pada saat jalan dalam keadaan berlubang, alat angkut akan cenderung menurunkan kecepatannya untuk menghindari terjadinya tumpahan pada material yang dibawanya.

Tabel 23. Kecepatan HD 785 pada Jalan Spanyol

STA	Kecepatan sesudah perbaikan (km/h)	Kecepatan sebelum perbaikan(km/h)
0-50	40	40
50-100	40	40
100-150	38	38
150-200	24	24
200-250	17	12
250-300	18	12
300-350	18	15
350-400	26	18
400-450	32	24
450-500	24	20
500-550	23	18
550-600	18	18
600-650	16	14

650-700	16	14
Rata- rata	25	21,9

Tabel 24. Kecepatan HD 785 pada Jalan Monte Bawah

STA	Kecepatan sesudah perbaikan (km/h)	Kecepatan sebelum perbaikan(km/h)
0-50	24	16
50-100	16	15
100-150	18	24
150-200	16	18
200-250	16	16
250-300	16	14
300-350	18	14
350-400	17	12
400-450	16	11
450-500	16	10
500-550	16	9
550-600	16	10
600-650	17	14
650-700	16	14
700-750	16	10
750-800	18	8
800-850	17	14
Rata-rata	17	13,47

V. UCAPAN TERIMA KASIH

Saya mengucapkan terima kasih kepada keluarga dan teman-teman atas dukungan moral dan motivasi yang tiada henti. Tidak lupa juga, saya berterima kasih kepada bapak dosen pembimbing saya dan rekan-rekan penelitian yang sudah memberikan masukan dan saran dalam penelitian ini serta tidak lupa ucapan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada semua pihak yang telah memberikan kontribusi dan dukungannya dalam proses penyusunan jurnal ini. Akhir kata, saya berharap jurnal ini dapat memberikan kontribusi positif dan menjadi referensi yang bermanfaat bagi penelitian-penelitian selanjutnya.

VI. KESIMPULAN

6.1. Kesimpulan

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, maka dapat disimpulkan bahwa:

1. Evaluasi dari kondisi aktual jalan angkut terdapat jenis kerusakan berupa *potholes* (jalan berlubang), *corrugations* (jalan bergelombang), *rutting* (lendutan), *loose material*, dan *stoniness*. Kerusakan tersebut mengakibatkan nilai *qualitative rolling resistance assessment* jalan menjadi kurang dari standar yang ditetapkan perusahaan, yaitu sebesar 2%.
2. Konstruksi jalan yang baik untuk menanggulangi kerusakan jalan yang diakibatkan oleh ketidakmampuan nilai daya dukung tanah adalah, perbaikan nilai CBR jalan yang disesuaikan dengan unit terbesar yang melintas yaitu HD 785 dengan nilai CBR minimum yaitu 39%.

3. Kondisi setelah dilakukan perbaikan didapatkan nilai perbaikan *qualitative rolling resistance assesment* sebesar 2% dan hasil kecepatan perbaikan untuk Jalan Monte Bawah menjadi 17km/jam dan untuk sisi *empty* menjadi 30,65km/jam. Sedangkan untuk Jalan Spanyol didapatkan hasil 25km/jam dan *empty* 40 km/jam.

6.2. Saran

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, berikut adalah usulan untuk meningkatkan kecepatan alat angkut :

1. Melakukan pemeliharaan jalan angkut dengan menggunakan metode *qualitative rolling resistance assesment* agar nilai *rolling resistance* terjaga di 2%. Nilai *rolling resistance* yang terjaga di 2% dapat meningkatkan kecepatan dari alat angkut dan dapat meningkatkan produktivitas dari alat angkut tersebut.

VII. DAFTAR PUSTAKA

- Aldiyansyah. (2016). Analisis Geometri Jalan di Tambang Utara pada PT. Ifshideco Kecamatan Tinanggea Kabupaten Konawe Selatan Provinsi Sulawesi Tenggara. Jurnal Geomine, Vol 04, No 1.
- Amini, F. 2003. Potential Applications of Dynamics and Static Cone Penetrometer in MDOT Pavement Design and Construction. Final Report, Department of Civil Engineering: Jackson State University
- Bergawa, W.S. (2017). Perencanaan Tambang. Yogyakarta: Universitas Pembangunan "Nasional" Veteran Yogyakarta.
- Eaton, R. A., S. Gerard. and Cate, D. W. 1987. *Rating Unsurfaced Roads*. Special Report 87-154. United States Army Cold Regions Research and Engineering Laboratory. United States.
- Melodi, Aldo. (2017). Kajian Teknis Kegiatan Pengurangan Durasi Slipeery Pada Jalan Angkut Overburden Blok Barat PT. Muara Alam Sejahtera Lahat Sumatera Selatan. JP Vol 1, No 4.
- Oktafian, N. S. (2018). *Evaluasi Pengaruh Geometri Jalan Angkut Terhadap Produktivitas Dump Truck pada Pengangkutan Batubara dari Loading Point ke Stockpile di Site Ampelu PT. Nan Riang Kecamatan Muara Tambesi Kabupaten Batanghari Provinsi Jambi*. Bina tambang, volume 3, hal,1377-1386.
- Sukirman, S. (1999). *Dasar - Dasar Perencanaan Geometrik Jalan*. Bandung : Penerbit Nova.
- Thompson, R.J. (2011). Mine Haul Road Design, Construction & Maintenance Management.
- Yashas S. R., Harish, S. N., dan Muralidhara, H. R. 2016. Effect of California Bearing Ratio on the Properties of Soil. *American Journal of Engineering Research*. 5(4): 28-37.
- _____. (2018). Keputusan Menteri Energi dan Sumber Daya Mineral No. 1827 K/30/MEM/2018 Tentang Pedoman Pelaksanaan Kaidah Teknik Pertambangan Yang Baik. Jakarta.

