

ANALISIS GEOMETRI JALAN TAMBANG BATUBARA PADA KEGIATAN *OVERBURDEN REMOVAL* DI PT SATRIA ALAM MANUNGGAL SITE TOP DESA BUHUT JAYA KABUPATEN KAPUAS PROVINSI KALIMANTAN TENGAH

ANALYSIS OF MINE ROAD GEOMETRY IN OVERBURDEN REMOVAL ACTIVITIES AT PT SATRIA ALAM MANUNGGAL SITE TOP BUHUT JAYA VILLAGE KAPUAS REGENCY CENTRAL KALIMANTAN PROVINCE

**Anisa^{*1}, Deddy Nan Setya Putra Tanggara², Dody Ariyantho Kusma Wijaya³
Noveriady⁴, Asri Fridtriyanda⁵**

¹ Mahasiswa / Program Studi Teknik Pertambangan / Fakultas Teknik / Universitas Palangka Raya

^{2,3,4,5} Dosen / Program Studi Teknik Pertambangan / Fakultas Teknik / Universitas Palangka Raya

Korespondensi: anisaicha57066@gmail.com

ABSTRAK

Penelitian ini dilaksanakan di PT Satria Alam Manunggal Site TOP untuk menganalisis pengaruh kondisi geometri jalan terhadap kinerja alat angkut Scania P410-B6x4 dalam kegiatan pengangkutan material overburden. Jalur angkut dari front menuju disposal memiliki panjang 2,4 km dengan produktivitas alat angkut rata-rata 33,BCM/Jam, sedangkan target perusahaan ditetapkan 40 BCM/Jam. Kondisi ini menunjukkan adanya masalah terhadap waktu edar alat angkut saat mengangkut material overburden dari front hingga disposal yang menyebabkan produktivitas alat angkut tidak tercapai. Analisis dilakukan dengan membagi jalur angkut menjadi 29 segmen, terdiri atas 27 segmen lurus dan 2 segmen tikungan. Lebar minimum jalan lurus minimum 9,1 meter untuk dua jalur dan 5,2 meter untuk satu jalur, sementara pada tikungan lebar minimum 16,29 meter dan 9,31 meter, maksimal kemiringan jalan (grade) 8% serta elemen lain seperti jari-jari tikungan, superelevasi, kemiringan melintang (cross slope), tanggul pengaman (safety berm), dan saluran penirisan turut memengaruhi kenyamanan dan keselamatan operasional. Tujuan penelitian ini adalah mengevaluasi serta memberikan rekomendasi perbaikan geometri jalan agar sesuai standar teknis, sehingga waktu edar dapat dipangkas dan produktivitas alat angkut meningkat.

Kata Kunci: Geometri Jalan, Produktivitas, Waktu Edar

ABSTRACT

This study was conducted at PT Satria Alam Manunggal Site TOP to analyze the effect of road geometry conditions on the performance of Scania P410-B6x4 transport equipment in overburden material transportation activities. The haul route from the front to the disposal site is 2.4 km long, with an average hauler productivity of 33 BCM/hour, while the company's target is set at 40 BCM/hour. This situation indicates an issue with the hauler's travel time when transporting overburden material from the front to the

disposal site, resulting in the hauler's productivity not being achieved. The analysis was conducted by dividing the haul road into 29 segments, consisting of 27 straight segments and 7 curved segments. The minimum width of straight roads is 9.1 meters for two lanes and 5.2 meters for one lane, while for curves, the minimum width is 16.29 meters and 9.31 meters, with a maximum road gradient (grade) of 8%, as well as other elements such as curve radius, superelevation, cross slope, safety berm, and drainage channels, also affect operational comfort and safety. The objective of this study is to evaluate and provide recommendations for road geometry improvements to meet technical standards, thereby reducing travel time and increasing transportation vehicle productivity.

Keywords: *Road Geomety, Productivity, Travel Time*

PENDAHULUAN

Pada metode penambangan terbuka, kegiatan pengupasan lapisan tanah penutup (*overburden removal*) memiliki peran penting dikarenakan pengupasan overburden diperlukan agar bahan galian dapat diakses dan ditambang. Salah satu faktor utama yang memengaruhi efisiensi proses pengangkutan *overburden* adalah kondisi geometri jalan tambang, yang secara langsung berdampak pada produktivitas alat angkut.

Temuan dari hasil pengamatan lapangan di PT Satria Alam Manunggal Site TOP, mengidentifikasi adanya beberapa permasalahan pada geometri jalan tambang, khususnya dari *front* ke lokasi disposal. Ditemukan bahwa lebar jalan pada kondisi lurus dan tikungan belum sesuai dengan kebutuhan minimum alat angkut terbesar. Kondisi ini menyebabkan kendaraan sering mengurangi kecepatan bahkan berhenti saat berpapasan, yang berdampak pada peningkatan waktu edar (*cycle time*). Akibatnya, terjadi penurunan produktivitas alat angkut. Oleh karena itu, perbaikan geometri jalan tambang menurut acuan Kepmen ESDM No.1827K/30/MEM/2018 menjadi sangat penting untuk meningkatkan efisiensi operasional.

Berdasarkan latar belakang diatas penulis melaksanakan Penelitian Tugas Akhir yang berlokasi di Desa Buhut Jaya, Kecamatan Kapuas Tengah, Kabupaten Kapuas, Provinsi Kalimantan Tengah pada PT Satria Alam Manunggal Site TOP dimana dalam pelaksanaan Tugas Akhir ini penulis mengangkat Judul : "Analisis Geometri Jalan Tambang Batubara Pada Kegiatan *Overburden Removal* di PT Satria Alam Manunggal Site TOP Desa Buhut Jaya, Kecamatan Kapuas Tengah, Kabupaten Kapuas, Provinsi Kalimantan Tengah".

TINJAUAN PUSTAKA

Menurut Keputusan Menteri ESDM Nomor 1827 K/30/MEM/2018, jalan tambang diartikan jalur khusus yang berfungsi untuk mendukung kegiatan penambangan dan berada di dalam kawasan tambang maupun proyek. Jalan ini terbagi atas jalan pendukung dan jalan produksi. Jalan produksi sendiri adalah jalur yang terdapat di area tambang yang menjadi lintasan bagi alat angkut serta unit penunjang lainnya, yang berfungsi dalam pengangkutan tanah penutup, material galian tambang, maupun aktivitas pendukung penambangan.

Peraturan Menteri ESDM Nomor 26 Tahun 2018 Pasal 14 membahas aspek keselamatan dan kesehatan kerja serta keselamatan operasi pada kegiatan pertambangan mineral dan batubara. Aturan ini menekankan pentingnya pemeliharaan jalan tambang dan penerapan ketentuan teknis yang bertujuan mencegah kecelakaan kerja. Penerapan tersebut berkaitan erat dengan perencanaan maupun perbaikan geometri jalan, sehingga kondisi jalan tetap terjaga dan tidak menimbulkan risiko bagi operasional alat angkut maupun keselamatan pekerja.

Geometri jalan tambang adalah bagian penting dari perencanaan jalan yang berfokus pada rancangan fisik. Tujuannya untuk memastikan jalan dapat berfungsi sebagaimana mestinya, yaitu menyediakan jalur yang optimal bagi arus lalu lintas alat angkut yang melintas di atasnya. (Warman, 2022).

1. Geometri Jalan Tambang

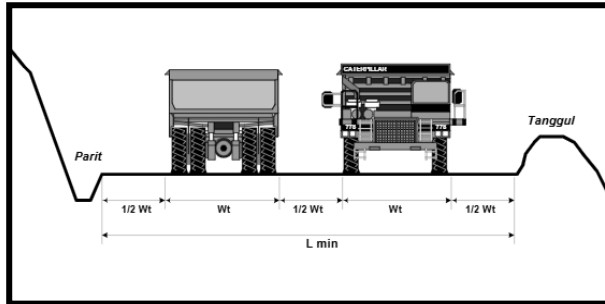
A. Lebar Jalan Kondisi Lurus

Menurut *The American Association of State Highway and Transportation Officials* (AASHTO) dalam *Manual of Rural Highway Design* tahun 1973, lebar minimum jalan lurus dengan dua jalur atau lebih perlu ditambah setengah lebar alat angkut pada sisi kiri dan kanan jalan.

Tabel 1. Lebar Jalan minimum

Jumlah Jalur	Perhitungan	Lebar Jalan Minimum
1	$n + (2 \times \frac{1}{2})$	2,0
2	$n + (3 \times \frac{1}{2})$	3,5
3	$n + (4 \times \frac{1}{2})$	5,0
4	$n + (5 \times \frac{1}{2})$	6,5

Sumber : Halawa Analiser (2021)



Gambar 1. Lebar Jalan Lurus

Sumber : Halawa Analiser (2021)

Persamaan yang digunakan untuk menghitung lebar jalan tambang dalam keadaan lurus adalah :

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

Keterangan :

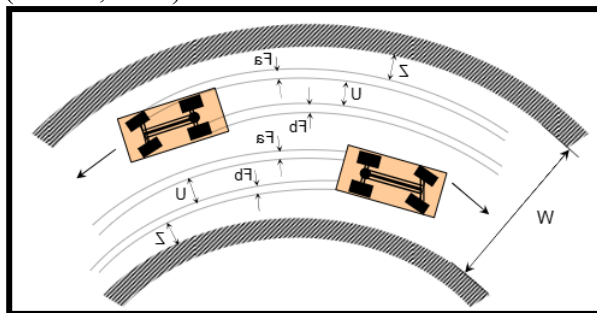
L = Lebar jalan minimum

n = Jumlah jalur

Wt = Lebar alat angkut total

B. Lebar Jalan Kondisi Tikungan

Penentuan lebar jalan pada tikungan mengacu pada lebar lintasan yang dibutuhkan alat angkut, termasuk ruang untuk tonjolan bagian depan dan belakang kendaraan saat berbelok. Oleh karena itu, lebar jalan pada tikungan umumnya lebih besar dibandingkan dengan jalan lurus. Pada jalur ganda, lebar minimum tikungan ditetapkan berdasarkan lebar jejak ban, besarnya jantai (tonjolan) kendaraan, jarak aman antaralat angkut ketika berpapasan, serta jarak dari kedua tepi jalan (Achida, 2021).



Gambar 2. Lebar Jalan Tikungan

Sumber: Achida (2021)

Persamaan yang digunakan untuk menghitung lebar jalan tambang dalam keadaan

tikungan adalah :

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

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

$$Fa = Ad \times \sin a$$

$$Fb = Ab \times \sin a$$

Keterangan :

Wmin= Lebar jalan pada tikungan (m)

U = Jarak jejak roda (m)

Ad = Jarak roda depan dengan bagian depan

Ab = Jarak roda belakang dengan belakang

Fa = Lebar jantai depan (m)

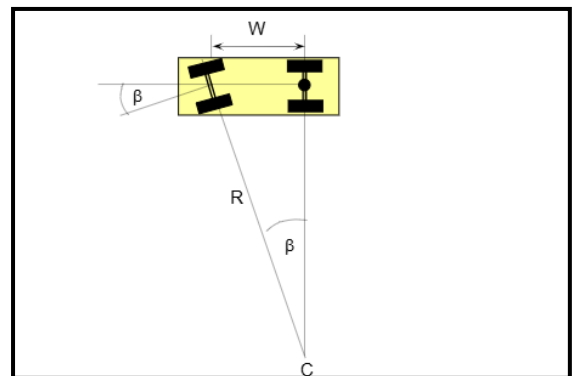
Fb = Lebar jantai belakang (m)

Z = Lebar bagian tepi jalan (m)

C = Jarak antara alat angkut besimpangan (m)

C. Jari – jari Tikungan

Kemampuan dump truck dalam melewati tikungan memiliki keterbatasan, sehingga perencanaan tikungan perlu memperhatikan besarnya jari-jari jalan. Penentuan jari-jari minimum dilakukan dengan mempertimbangkan kecepatan kendaraan (V), koefisien gesekan roda (f), serta superelevasi. Pada praktiknya, jari-jari tikungan dirancang lebih besar, atau setidaknya sama dengan jari-jari lintasan alat angkut tambang. Selain itu, penerapan superelevasi kemiringan melintang jalan pada tikungan juga menjadi aspek penting yang tidak boleh diabaikan (Achida, 2021).



Gambar 3. Jari-jari Tikungan

Sumber: Suwandhi (2004)

Persamaan yang digunakan untuk menghitung jari – jari tikungan adalah :

$$R = \frac{V^2}{217 (e+f)} \quad (3)$$

Keterangan :

e = Superelevasi (mm / m)

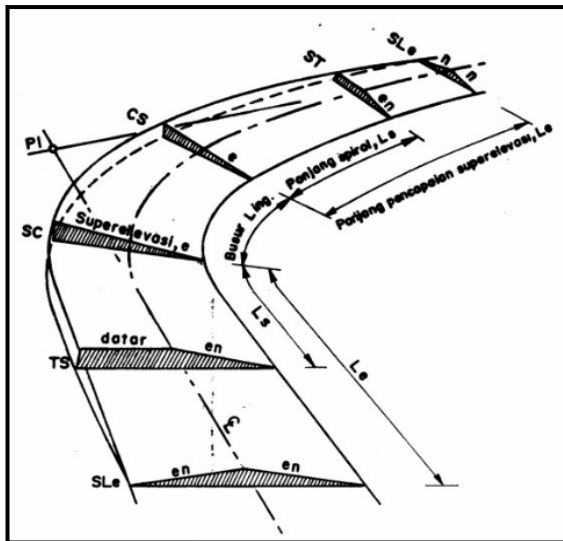
f = Friction factor

V = Kecepatan rencana kendaraan (km/jam)

R = Jari-jari tikungan

D. Superelevasi

Superelevasi adalah kemiringan jalan pada tikungan yang terbentuk akibat perbedaan ketinggian antara tepi luar dan tepi dalam jalan. Bagian tikungan merupakan area yang berpotensi berbahaya karena kendaraan akan menerima gaya sentrifugal saat berbelok. Untuk menyeimbangkan gaya tersebut, diperlukan penerapan superelevasi, yaitu memberikan kemiringan dengan menaikkan tepi jalan luar dibandingkan tepi jalan dalam. Besarnya nilai superelevasi dapat ditentukan melalui perhitungan menggunakan rumus berikut: (Suwandhi, 2004).



Gambar 4. Superelevasi
Sumber: Suwandhi (2004)

Superelevasi dapat dihitung menggunakan rumus sebagai berikut :

$$e + f = \frac{V^2}{217 R} \quad (4)$$

Keterangan :

- e = Superelevasi (mm / m)
- f = Koefisien gesekan
- V = Kecepatan alat angkut (km/jam)
- R = Jari-jari tikungan (m)

Nilai f didapat dari kecepatan rencana yaitu:

- a. Kecepatan < 80 km/jam, maka: $f = (-0,00065 V) + 0,192$
- b. Kecepatan antara 80-112 km/jam, maka : $f = (-0,00125 V) + 0,24$.

Tabel 2. Nilai Superelevasi yang Diijinkan (ft/ft)

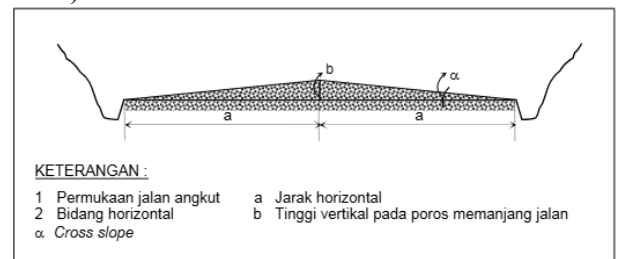
Radius Tikungan (ft)	Kecepatan Kendaraan (mph)					
	10	15	20	25	30	35 atau lebih
50	0,04	0,04				
100	0,04	0,04	0,04			
150	0,04	0,04	0,04	0,05		

250	0,04	0,04	0,04	0,04	0,06	
300	0,04	0,04	0,04	0,04	0,05	0,06
600	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,05
1000	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04

(Sumber : AASHTO, 1990)

E. Kemiringan Melintang (Cross Slope)

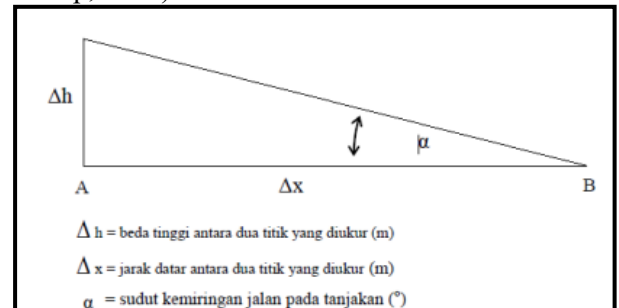
Cross slope adalah kemiringan melintang jalan yang terbentuk dari sudut antara kedua sisi permukaan jalan terhadap bidang horizontal. Tujuan utama penerapan cross slope adalah memperlancar aliran air permukaan sehingga tidak terjadi genangan saat hujan. Kemiringan ini biasanya dibuat dengan meninggikan bagian tengah jalan dibandingkan sisi tepinya (Suwandhi, 2004).



Gambar 5. Kemiringan Melintang (Cross Slope)
Sumber: Suwandhi (2004)

F. Kemiringan Jalan (Grade)

Grade jalan tambang sangat penting dan perlu perhatian ekstra dalam evaluasi kondisi jalan. Kemiringan jalan memiliki kaitan langsung dengan kinerja alat angkut, baik dalam kemampuan menanjak maupun saat melakukan pengereman. Umumnya, kemiringan dinyatakan dalam satuan persen (%). Sebagai contoh, kemiringan 1% menunjukkan bahwa setiap jarak mendatar 100 meter (atau 100 ft) terdapat perubahan elevasi setinggi 1 meter (atau 1 ft). Nilai kemiringan jalan dapat ditentukan melalui persamaan berikut: (Dede Yusup, 2022).



Gambar 6. Kemiringan Jalan (Grade)
Sumber : Dede Yusup, 2022

G. Tanggul Pengaman (Safety Berm)

Berdasarkan Kepmen ESDM Nomor 1827

K/30/MEM/2018, setiap jalan tambang wajib dilengkapi tanggul pengaman pada sisi luar badan jalan. Tinggi tanggul tersebut ditetapkan minimal tiga perempat dari diameter roda kendaraan terbesar yang melintas, serta harus dirancang dengan mempertimbangkan potensi limpasan air maupun material lepas yang dapat masuk ke badan jalan (Vina Nicke Suri, 2020).

H. Saluran Penirisan (Parit)

Saluran penirisan (parit) berfungsi mengendalikan aliran air hujan baik yang jatuh di permukaan jalan maupun yang berasal dari area sekitarnya. Tujuan utamanya adalah mencegah genangan serta melindungi konstruksi jalan dari kerusakan akibat limpasan air yang melewati badan jalan (Vina Nicke Suri, 2020)

2. Waktu Edar (*Cycle Time*)

Waktu edar alat angkut mencakup seluruh rangkaian aktivitas mulai dari proses pengisian material oleh alat muat hingga penuh, perjalanan dengan bak bermuatan, manuver untuk mengambil posisi penumpahan, proses penumpahan material, kembali ke lokasi front dalam kondisi kosong, hingga kembali mengambil posisi untuk siklus pengisian berikutnya (Budi Listyawan, 2021).

$$CTa = (Ta1 + Ta2 + Ta3 + Ta4 + Ta5 + Ta6) \quad (6)$$

Keterangan :

Ta1 = Waktu manuver loading (menit)

Ta2 = Waktu loading (menit)

Ta3 = Waktu hauling muatan (menit)

Ta4 = Waktu manuver dumping (menit)

Ta5 = Waktu dumping (menit)

Ta6 = Waktu hauling kosong (menit)

3. Fill Factor

Karakteristik ukuran material berperan penting dalam menentukan kelancaran proses pemuatan. Produktivitas alat muat sangat dipengaruhi oleh sifat material yang diangkut. Dalam hal ini dikenal istilah faktor pengisian vessel, yang membandingkan kapasitas nyata dengan kapasitas teoritis munjung. Faktor pengisian mangkuk alat muat (F) dapat dihitung sebagai perbandingan antara volume nyata (Vn) dan volume teoritis munjung (Vt), sebagaimana ditunjukkan dalam persamaan berikut: (Budi Listyawan, 2021).

$$F = \frac{Vn}{Vt} \times 100\% \quad (7)$$

Keterangan :

F = Faktor pengisian (%)

Vn = Volume nyata atau kapasitas nyata (m³)

Vt = Volume munjung teoritis (m³)

4. Swell Factor

Pengembangan (*swelling*) adalah persentase pertambahan volume material dari kondisi asli akibat proses penggalian, yang menyebabkan bertambahnya jumlah material yang harus dipindahkan dari posisi semula. Volume material sebelum dan sesudah digali digunakan untuk menentukan faktor pengembangan. Faktor ini juga dapat dihitung melalui perbandingan antara densitas material lepas dengan densitas material insitu. Densitas sendiri didefinisikan sebagai massa per satuan volume dari suatu material (Gusman, 2021).

$$SF = \frac{Vinsitu}{Vloose} \times 100\% \quad (8)$$

Keterangan :

SF = Swell Factor (%)

Vinsitu = Volume insitu (BCM)

Vloose = Volume loose (LCM)

Tabel 3. Swell Factor dari Berbagai Material

Macam material	Swell factor
Bauksit	0,75
Tanah liat, kering	0,85
Tanah liat, basah	0,80-0,82
Batubara (antrasit – bituminus)	0,74
Bujih tembaga	0,74
Tanah biasa, kering	0,85
Tanah biasa, basah	0,85
Tanah biasa bercampur kerikil	0,90
Kerikil kering	0,89
Kerikil basah	0,88
Granit, pecah-pecah	0,56-0,67
Hematite, pecah-pecah	0,45
Bijih besi, pecah-pecah	0,45
Batu kapur, pecah-pecah	0,57-0,60
Lumpur	0,83
Lumpur, sudah ditekan	0,83
Pasir kering	0,89
Pasir basah	0,88
Serpih (shale)	0,75
Batu sabak	0,77

Sumber : Hadi Zulkarnain Ladianto (2019)

5. Efisiensi Kerja

Efisiensi kerja merupakan aspek penting dalam kegiatan pertambangan yang menuntut pengelolaan waktu secara tepat agar produktivitas dapat tercapai secara optimal. Secara umum, efisiensi dapat diartikan sebagai kemampuan

mencapai hasil kerja dengan memanfaatkan sumber daya yang tersedia—baik material, peralatan, maupun tenaga kerja—dalam batas waktu yang telah ditentukan (Budi Listyawan, 2021).

$$EFF = \frac{We}{Wt} \times 100\% \quad (9)$$

Keterangan :

EFF = Efisiensi kerja (%)
We = Waktu efektif kerja
Wt = Waktu tersedia kerja

6. Produktivitas Dump Truck

Produktivitas aktual dump truk dapat dihitung dengan rumus sebagai berikut: (Budi Listyawan, 2021).

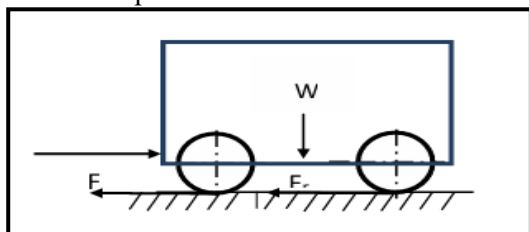
$$Q = \frac{3600}{CT} \times n \times Kb \times bff \times \{eff\} \times \{sf\} \quad (10)$$

Keterangan:

Q = Produktivitas excavator (m³/jam)
sf = *Swell factor*
Kb = Kapasitas *bucket* (m³)
eff = Efisiensi kerja (%)
bff = *Bucket fill factor* (%)
CT = *Cycle Time* (menit)
n = Jumlah pengisian

7. Rolling Resistance

Rolling resistance adalah hambatan yang dialami roda ketika menggelinding, yang timbul akibat gaya gesekan antara roda dan permukaan jalan. Pada prinsipnya, *rolling resistance* merupakan momen yang bekerja berlawanan dengan arah gerakan roda, sehingga setara dengan gaya yang dibutuhkan untuk menggerakkan roda maju (Taghavifar & Mardani, 2013). Besarnya *rolling resistance* dipengaruhi oleh beberapa faktor, antara lain kondisi ban, kualitas jalan, bantalan, dan sistem suspensi.



Gambar 7. *Rolling Resistance*

Sumber : Taghavifar dan Mardani, 2013

Secara teoritis nilai dari tahanan gelinding dapat ditentukan dengan persamaan berikut :

$$RR = W \times r \quad (11)$$

Keterangan :

RR = *Rolling Resistance* (lb/ton)
W = Berat Kendaraan (ton)
R = Koefisien *Rolling Resistance* (%)

8. Grade Resistance

Grade resistance merupakan gaya akibat berat kendaraan yang dapat menghambat atau membantu pergerakannya, tergantung pada kemiringan jalan yang dilalui. Pada kemiringan positif (tanjakan), nilai *grade resistance* meningkat sehingga kebutuhan *rimpull* bertambah, sedangkan pada kemiringan negatif (turunan), nilainya menurun sehingga *rimpull* berkurang. Besar kecilnya *grade resistance* dipengaruhi oleh sudut kemiringan jalan dan bobot kendaraan. Secara teoritis, nilai *grade resistance* dapat dihitung dengan persamaan berikut: (Dede Yusup, 2022).

$$Rp2 = w \times Rpt \times G$$

Keterangan :

Rp2 = *Rimpul* untuk mengatasi tanjakan (lb)
W = Berat kendaraan bermuatan (ton)
Rpt = 20lb/ton/%
G = *Grade* jalan(%)

Tabel 4. Nilai Tahanan Gulir

Jenis Jalan	Tahanan gulir untuk ban karet (lb/ton)
Keras, permukaan halus, stabil, permukaan jalan tanpa ada amblasan roda kendaraan, terawat	40
Kuat dengan permukaan halus, terawat baik, bekas jejak roda kendaraan (tipis)	65
Salju : <i>pached</i>	50
<i>loose</i>	90
Jalan becek, bekas jejak roda kendaraan (tebal), sedikit perawatan, amblasan roda 25 mm- 50 mm	100
Jalan becek, tidak terawat, tidak stabil, amblasan roda 100 mm – 150 mm	150
<i>Loose sand</i> atau <i>gravel</i>	200
Lembek, berlumpur, tidak terawat	200-400

9. Rimpul

Rimpull adalah besarnya gaya tarik yang dihasilkan mesin dan disalurkan melalui roda penggerak yang bersentuhan langsung dengan permukaan jalan tambang. Apabila koefisien traksi cukup tinggi untuk mencegah terjadinya selip, maka *rimpull* maksimum ditentukan oleh tenaga mesin (*horse power*) serta perbandingan gigi (*gear ratio*) antara mesin dan roda. Secara teoritis, nilai

rimpull dapat dihitung menggunakan persamaan berikut: (Dede Yusup, 2022)

$$Rt = \frac{Hp \times 375 \times Em}{V(mph)} \times 100\% \quad (12)$$

Keterangan :

Rt = Rimpul tersedia (lbs)
Em = Efisiensi mekanis (%)
V = Kecepatan (mph)

METODE

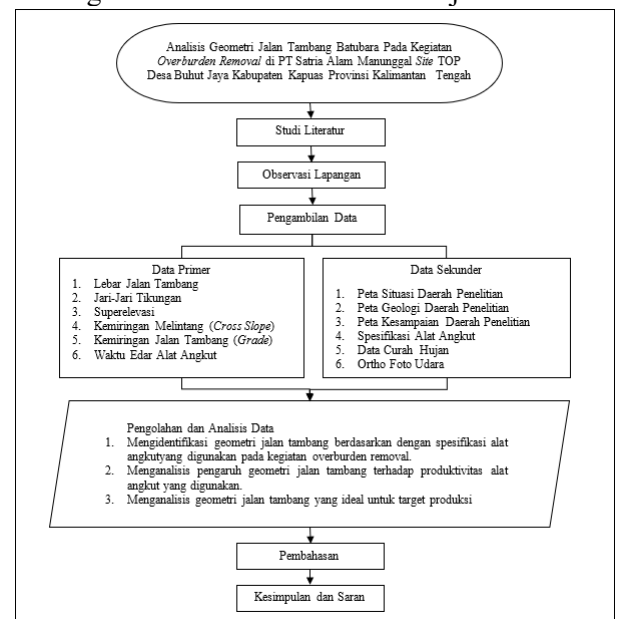
Penelitian ini bersifat kuantitatif dengan pendekatan studi kasus, di mana fokus utama adalah analisis geometri jalan tambang yang menjadi salah satu faktor penyebab produktivitas alat angkut tidak tercapai. Lokasi penelitian berada di PT Satria Alam Manunggal, Site TOP, Desa Buhut Jaya, Kabupaten Kapuas, Provinsi Kalimantan Tengah. Kegiatan penelitian dilaksanakan pada bulan Februari hingga Maret 2025. Objek penelitian adalah jalan angkut pada kegiatan pengangkutan material *overburden* dari front menuju disposal dengan jarak 2,3 km. Alat angkut yang dijadikan dasar perhitungan adalah dump truck Scania P410-B6x4.

Data yang digunakan terdiri dari data primer dan sekunder. Data primer diperoleh melalui pengukuran langsung di lapangan meliputi lebar jalan lurus dan tikungan, jari-jari tikungan, kemiringan jalan (grade), superelevasi, *cross slope*, kondisi drainase, serta kondisi tanggul (*safety berm*). Pengukuran dilakukan dengan metode *sampling segmentasi* berdasarkan karakteristik jalan, yaitu segmen lurus, tikungan, dan jalan dengan kemiringan tertentu. Instrumen pengukuran yang digunakan adalah *Real Time Kinematic* (RTK). Sementara itu, data sekunder meliputi spesifikasi teknis alat angkut, peta ortho foto, dan peta layout situasi lintasan jalan.

Metode pengumpulan data dilakukan melalui observasi dan pengukuran langsung di lapangan, dokumentasi, serta studi literatur yang bersumber dari jurnal, pedoman teknis, dan regulasi terkait. Tahapan analisis dimulai dengan mengidentifikasi elemen geometri jalan pada segmen lurus dan tikungan, meliputi lebar, kemiringan jalan (grade), radius tikungan, superelevasi, *cross slope*, drainase, dan tanggul (*safety berm*). Selanjutnya, hasil pengukuran dibandingkan dengan standar yang ditetapkan dalam Kepmen ESDM No. 1827 K/30/MEM/2018

sebagai acuan nasional. Analisis juga menghubungkan tingkat kesesuaian geometri jalan dengan dampaknya terhadap produktivitas, khususnya waktu edar, kecepatan angkut, dan aspek keselamatan.

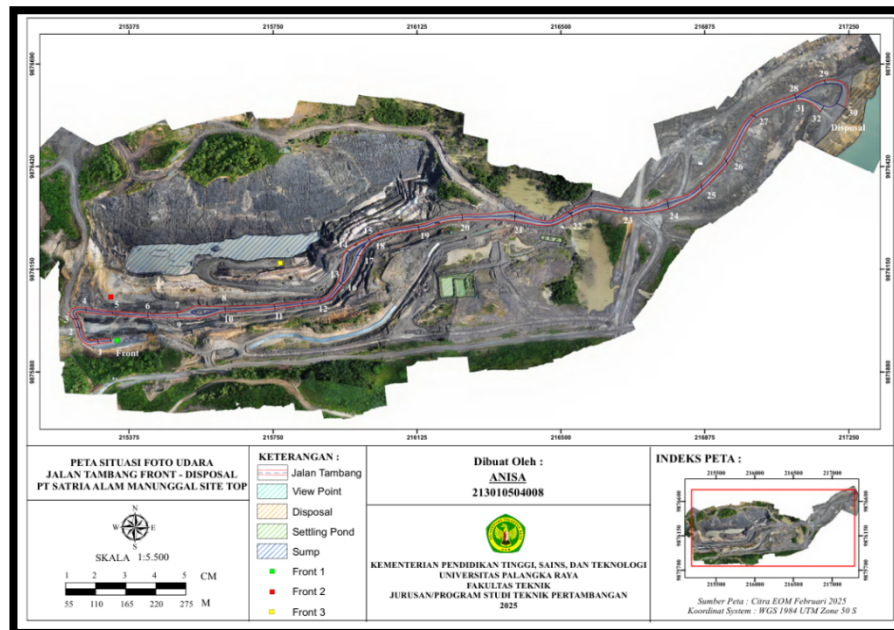
Instrumen analisis yang digunakan berupa rumus-rumus perhitungan standar sesuai pedoman AASHTO serta perangkat lunak pendukung untuk pengolahan data. Kriteria penilaian ditetapkan bahwa jalan dikategorikan “memenuhi standar” apabila hasil pengukuran sama atau lebih besar dibandingkan ketentuan, sedangkan jalan dinyatakan “belum ideal” apabila hasil pengukuran lebih kecil atau lebih curam daripada standar, yang berpotensi menurunkan produktivitas serta meningkatkan risiko keselamatan kerja.



Gambar 8. Bagan Alur Penelitian

HASIL DAN PEMBAHASAN

Kondisi geometri jalan tambang dari *front* hingga disposal di PT Satria Alam Manunggal Site TOP sepanjang ±2,3 km masih belum memenuhi kriteria ideal berdasarkan tipe alat angkut Scania P410-B6X4, sehingga berdampak pada kurang efisiennya proses pengangkutan material *overburden*. Untuk menganalisis pengaruh kondisi geometri jalan terhadap produktivitas alat angkut, peneliti melakukan pengambilan sampel dengan metode segmentasi. Total terdapat 29 segmen jalan dengan 32 titik pantau yang dianalisis, terdiri dari 22 segmen jalan lurus dan 7 segmen jalan tikungan.



Gambar 9. Peta Situasi Foto Udara Jalan Tambang

Tabel 5. Panjang Jalan Per Segmen

Segmen	Titik	Jarak Datar	Keterangan	Jumlah Jalur
1	Front-S1	32.719	Lurus	2
2	S1-S2	88.234	Tikungan	2
3	S2-S3	22.837	Lurus	2
4	S3-S4	65.766	Tikungan	2
5	S4-S5	77.561	Lurus	2
6	S5-S6	83.75	Lurus	2
7	S6-S7	74.718	Lurus	2
8	S7-S8	128.761	Lurus	1
9	S9-S10	127.886	Lurus	1
10	S10-S11	129.576	Lurus	2
11	S11-S12	119.144	Lurus	2
12	S12-S13	77.623	Tikungan	2
13	S13-S14	86.381	Lurus	1
14	S14-S15	66.951	Lurus	1
15	S16-S17	88.253	Lurus	1
16	S17-S18	46.363	Lurus	1
17	S18-S19	133.978	Lurus	2
18	S19-S20	115.165	Lurus	2
19	S20-S21	137.57	Lurus	2
20	S21-S22	155.845	Tikungan	2
21	S22-S23	141.919	Tikungan	2
22	S23-S24	114.759	Lurus	2
23	S24-S25	99.681	Lurus	2
24	S25-S26	97.02	Lurus	2
25	S26-S27	142.983	Lurus	2
26	S27-S28	126.13	Lurus	2
27	S28-S29	87.028	Lurus	1
28	S29-S30	119.81	Tikungan	1
29	S31-S32	72.475	Tikungan	1

Jadi, lebar jalan lurus minimum untuk satu jalur adalah 5,2 meter, sedangkan lebar jalan minimum untuk dua jalur adalah 9,1 meter.

Tabel 6. Lebar Jalan Lurus

Segmen	Titik	Lebar Jalan Minimum (m)	Lebar jalan aktual (m)	Analisis
1	Front-S1	9.1	10.549	>L. Min
3	S2-S3	9.1	15.737	>L. Min
5	S4-S5	9.1	5.004	<L. Min
6	S5-S6	9.1	11.019	>L. Min
7	S6-S7	9.1	14.315	>L. Min
8	S7-S8	5.2	9.201	>L. Min
9	S9-S10	5.2	9.041	>L. Min
10	S10-S11	9.1	12.128	>L. Min
11	S11-S12	9.1	9.007	<L. Min
13	S13-S14	9.1	11.009	>L. Min
14	S14-S15	5.2	10.177	>L. Min
15	S16-S17	5.2	10.417	>L. Min
16	S17-S18	5.2	7.175	>L. Min
17	S18-S19	9.1	12.162	>L. Min
18	S19-S20	9.1	13.049	>L. Min
19	S20-S21	9.1	24.035	>L. Min
22	S23-S24	9.1	24.433	>L. Min
23	S24-S25	9.1	15.381	>L. Min
24	S25-S26	9.1	15.226	>L. Min
25	S26-S27	9.1	14.164	>L. Min
26	S27-S28	9.1	17.703	>L. Min
27	S28-S29	5.2	9.887	>L. Min

1. Geometri Jalan Tambang

A. Lebar Jalan Lurus

$$\begin{aligned}
 L(m) &= (n \times W_t) + (n+1) (0,5 \times W_t) \\
 &= 1 \times 2,6m + (1 + 1)(0,5 \times 2,6m) \\
 &= 5,2 \text{ meter (Untuk satu jalur)} \\
 L(m) &= (n \times W_t) + (n+1) (0,5 \times W_t) \\
 &= 2 \times 2,6m + (1 + 1)(0,5 \times 2,6m) \\
 &= 9,1 \text{ meter (Untuk dua jalur)}
 \end{aligned}$$

B. Geometri Jalan Tikungan

Diketahui :

$$U = 1,95 \text{ meter}$$

$$Ad = 1,46 \text{ meter}$$

$$\begin{aligned}
 Fa &= Ad \times \sin \alpha \\
 &= 1,46 \times \sin 41^\circ \\
 &= 1.46 \times 0,67
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 &= 0,96 \text{ meter} \\
 Ab &= 2,60 \text{ meter} \\
 Fb &= Ab \times \sin \alpha \\
 &= 2,60 \times \sin 41^\circ \\
 &= 2,6 \times 0,67 \\
 &= 1,74 \text{ meter} \\
 C &= Z = \frac{1}{2} \times (1,95 + 0,96 + 1,74) \\
 &= 2,33 \text{ meter} \\
 W &= 2 (1,95 + 0,96 + 1,74 + 2,33) + 2,33 \\
 &= 16,29 \text{ meter} \rightarrow 17 \text{ meter (Dua Jalur)} \\
 W &= 1 (1,95 + 0,96 + 1,74 + 2,33) + 2,33 \\
 &= 9,31 \text{ meter} \rightarrow 10 \text{ meter (Satu Jalur)}
 \end{aligned}$$

Jadi, lebar jalan tikungan minimum untuk satu jalur adalah 9,31 meter, sedangkan lebar jalan minimum untuk dua jalur adalah 16,29 meter.

Tabel 7. Lebar Jalan Tikungan

Segmen	Titik	Lebar Jalan Minimum (m)	Lebar Jalan Aktual (m)	Analisis
2	S1-S2	16.29	12.278	<L. Min
4	S3-S4	16.29	13.833	<L. Min
13	S13-S14	16.29	10.319	<L. Min
21	S22-S23	16.29	11.284	<L. Min
22	S23-S24	16.29	16.890	>L. Min
29	S30-S31	9.31	9.048	<L. Min
30	S32-S33	9.31	9.533	>L. Min

C. Kemiringan Jalan (Grade)

Diketahui: Beda tinggi : 0,473 m
Jarak datar : 32,719 m

$$\text{Grade} = \frac{0,473}{32,719} \times 100\%$$

$$\text{Grade} = 1,45 \%$$

Tabel 8. Kemiringan Jalan (Grade)

Segmen	Titik	Jarak Datar (m)	Beda Tinggi (m)	Grade Standar (%)	Grade (%)	Analisis
1	Front-S1	32.719	0.473	8	1.45	< Standar
2	S1-S2	88.234	3.061	8	3.47	< Standar
3	S2-S3	22.837	0.007	8	0.03	< Standar
4	S3-S4	65.766	4.168	8	6.34	< Standar
5	S4-S5	77.561	3.374	8	4.35	< Standar
6	S5-S6	83.75	3.834	8	4.58	< Standar
7	S6-S7	74.718	1.459	8	1.95	< Standar
8	S7-S8	128.761	0.416	8	0.32	< Standar
9	S9-S10	127.886	1.996	8	1.56	< Standar
10	S10-S11	129.576	3.174	8	2.45	< Standar
11	S11-S12	119.144	0.667	8	0.56	< Standar
12	S12-S13	77.623	2.750	8	3.54	< Standar
13	S13-S14	86.381	3.073	8	3.56	< Standar
14	S14-S15	66.951	6.392	8	9.55	> Standar
15	S16-S17	88.253	2.945	8	3.34	< Standar
16	S17-S18	46.363	2.416	8	5.21	< Standar
17	S18-S19	133.978	10.262	8	7.66	< Standar
18	S19-S20	115.165	4.830	8	4.19	< Standar
19	S20-S21	137.57	2.822	8	2.05	< Standar
20	S21-S22	155.845	4.097	8	2.63	< Standar
21	S22-S23	141.919	7.477	8	5.27	< Standar
22	S23-S24	114.759	1.905	8	1.66	< Standar
23	S24-S25	99.681	3.495	8	3.51	< Standar
24	S25-S26	97.02	1.443	8	1.49	< Standar
25	S26-S27	142.983	1.706	8	1.19	< Standar
26	S27-S28	126.13	7.957	8	6.31	< Standar
27	S28-S29	87.028	3.510	8	4.03	< Standar

28	S29-S30	119.81	6.924	8	5.78	< Standar
29	S31-S32	72.475	8.155	8	11.25	> Standar

D. Jari – Jari Tikungan

Diketahui :

Kecepatan rencana : 20 Km/jam

Superelevasi : 0.04 m/m

f max untuk kecepatan rencana <80 Km/jam :

$$(-0,00065 \times V) + 0.192$$

$$F = (-0,00065 \times V) + 0.192$$

$$= (-0,00065 \times 20) + 0.192$$

$$= 0,179$$

$$R = \frac{20^2}{127 (0,04 + 0,179)}$$

$$R = 14,38 \text{ meter} \times 3,3$$

$$R = 47,45 \text{ ft}$$

Tabel 9. Jari-Jari Tikungan

Segmen	Titik	Jari - Jari Minim um (m)	Jari - Jari Aktual (m)	Analisis
2	S1-S2	14.38	20.908	>L. Min
4	S3-S4	14.38	13.321	<L. Min
12	S12-S13	14.38	30.351	>L. Min
20	S21-S22	14.38	54.359	>L. Min
21	S22-S23	14.38	71.129	>L. Min
28	S29-S30	14.38	25.276	>L. Min
29	S31-S32	14.38	66.513	>L. Min

E. Superelevasi

Superelevasi yang direkomendasikan dari tabel diatas untuk R = 47,45 ft atau 14,38 meter dengan kecepatan rencana 20 km/jam, maka nilai superelevasi dari tiap tikungan dihitung dengan menggunakan angka superelevasi 0,04 m/m, maka beda tinggi yang harus dibuat untuk jalan adalah :

Angka superelevasi : 0,04 m/m

Lebar tikungan minimum : 16.29 m untuk dua arah dan 9.31 m untuk satu arah

Sehingga dapat dihitung beda tinggi antara sisi tikungan adalah sebagai berikut :

$$\text{Superelevasi} = 0,04 \text{ m/m} \times 16.29 \text{ m}$$

$$= 0,6516 \text{ m/m} (65.16\text{cm}) \text{ dua jalur}$$

$$\text{Superelevasi} = 0,04 \text{ m/m} \times 9.31 \text{ m}$$

$$= 0,3724 \text{ m/m} (37.24\text{cm}) \text{ satu jalur}$$

Tabel 10. Superelevasi

Segmen	Titik	Lebar Jalan (m)	Beda Tinggi (m)	Superelevasi Minimum (m/m)	Superelevasi Aktual (m/m)	Analisis
2	S1-S2	12.278	0.361	0.04	0.03	<Standar
4	S3-S4	13.833	0.714	0.04	0.05	>Standar
12	S12-S13	10.319	0.142	0.04	0.01	<Standar
20	S21-S22	11.284	0.064	0.04	0.01	<Standar
21	S22-S23	16.890	1.247	0.04	0.07	>Standar
28	S29-S30	14.38	0.318	0.04	0.02	<Standar
29	S31-S32	9.533	0.093	0.04	0.01	<Standar

F. Kemiringan Melintang (Cross Slope)

Poros jalan = $\frac{1}{2}$ lebar jalan
 = $\frac{1}{2} \times 9.1 \text{ m}$
 = 4.55 m (dua arah)

Poros jalan = $\frac{1}{2}$ lebar jalan
 = $\frac{1}{2} \times 5.2 \text{ m}$
 = 2.6 m (dua arah)

Maka didapat poros jalan (tengah-tengah jalan) adalah 4,37 m dan 2,6 m dari sisi bagian luar jalan angkut, Sehingga beda tinggi yang harus

dibuat :
 Beda tinggi = $4.55 \text{ m} \times 0.02 \text{ m/m}$
 = 0.091 m
 = 9,1 cm (dua jalur)
 Beda tinggi = $2.6 \text{ m} \times 0.02 \text{ m/m}$
 = 0.052 m
 = 5,2 cm (satu jalur)

Tabel 11. Kemiringan Jalan (Grade)

Segmen	Beda Tinggi (m/m)		Lebar Jalan (m)		Cross Slope (m/m)		Cross Slope Minimum (m/m)	Analisis	
	Muatan	Kosongan	Muatan	Kosongan	Muatan	Kosongan		Muatan	Kosongan
S1	0.022	0.022	5.272	5.277	0.004	0.004	0.02	< Standar	< Standar
S3	0.141	0.141	7.924	7.845	0.018	0.018	0.02	< Standar	< Standar
S5	0.188	0.191	4.012	4.013	0.047	0.048	0.02	> Standar	> Standar
S6	0.137	0.17	5.510	5.510	0.025	0.031	0.02	> Standar	> Standar
S7	0.075	0.074	7.159	7.156	0.010	0.010	0.02	< Standar	< Standar
S8	0.114	0.132	7.091	7.091	0.016	0.019	0.02	< Standar	< Standar
S9	0.075	0.074	7.159	7.156	0.010	0.010	0.02	< Standar	< Standar
S10	0.114	0.132	7.091	7.091	0.016	0.019	0.02	< Standar	< Standar
S11	0.071	0.071	6.064	6.064	0.012	0.012	0.02	< Standar	< Standar
S13	0.159	0.201	7.889	7.889	0.020	0.025	0.02	> Standar	> Standar
S14	0.181	0.181	5.504	5.504	0.033	0.033	0.02	> Standar	> Standar
S15	0.167	0.146	6.022	6.022	0.028	0.024	0.02	> Standar	> Standar
S16	0.159	0.201	7.889	7.889	0.020	0.025	0.02	> Standar	> Standar
S17	0.076	0.076	4.993	4.993	0.015	0.015	0.02	< Standar	< Standar
S18	0.167	0.146	6.022	6.022	0.028	0.024	0.02	> Standar	> Standar
S19	0.223	0.182	6.084	6.084	0.037	0.030	0.02	> Standar	> Standar
S22	0.162	0.257	7.961	7.961	0.020	0.032	0.02	> Standar	> Standar
S23	0.349	0.349	7.167	7.167	0.049	0.049	0.02	> Standar	> Standar
S24	0.306	0.311	8.951	8.951	0.034	0.035	0.02	> Standar	> Standar
S25	0.219	0.219	7.692	7.692	0.028	0.028	0.02	> Standar	> Standar
S26	0.058	0.058	7.610	7.616	0.008	0.008	0.02	< Standar	< Standar
S27	0.132	0.108	7.086	7.086	0.019	0.015	0.02	< Standar	< Standar

G. Tanggul Pengaman (Safety Berm)

Tinggi tanggul yang direkomendasikan adalah $\frac{3}{4}$ tinggi ban alat angkut.

Tinggi tanggul = $\frac{3}{4}$ tinggi ban alat angkut
 = $\frac{3}{4} \times 120 \text{ cm}$
 = 0,90 cm

Tabel 12. Tanggul Pengaman (Safety Berm)

Segmen	Titik	Tinggi Tanggul Rekomendasi (m)	Tinggi Tanggul (m)	
			Muatan	Kosongan
1	Front-S1	0.90	0.92	0.86
2	S1-S2	0.90	0.87	0.75
3	S2-S3	0.90	0.84	0.63
4	S3-S4	0.90	0.76	0.67
5	S4-S5	0.90	0.89	0.74
6	S5-S6	0.90	0.82	0.68
7	S6-S7	0.90	0.83	0.81
8	S7-S8	0.90	0.98	0.85
9	S9-S10	0.90	0.92	0.75
10	S10-S11	0.90	0.87	0.63

11	S11-S12	0.90	0.88	0.61
12	S12-S13	0.90	0.75	0.76
13	S13-S14	0.90	0.79	0.67
14	S14-S15	0.90	0.74	0.75
15	S16-S17	0.90	0.75	0.70
16	S17-S18	0.90	0.86	0.86
17	S18-S19	0.90	0.95	0.91
18	S19-S20	0.90	0.90	0.85
19	S20-S21	0.90	0.85	0.76
20	S21-S22	0.90	0.82	0.68
21	S22-S23	0.90	0.85	0.80
22	S23-S24	0.90	0.81	0.79
23	S24-S25	0.90	0.98	0.91
24	S25-S26	0.90	0.86	0.81
25	S26-S27	0.90	0.65	0.74
26	S27-S28	0.90	0.74	0.69
27	S28-S29	0.90	0.85	0.78
28	S29-S30	0.90	0.82	0.74
29	S31-S32	0.90	0.85	0.76

H. Saluran Penirisan

Saluran penirisan yang ideal untuk memastikan aliran tetap lancar dan tidak menimbulkan

sedimentasi berlebih. Selain itu, posisi saluran harus ditempatkan di kedua sisi jalan agar air dari *cross slope* dapat segera dialirkan.

2. Rimpul

Kekuatan mesin = 410 HP

Efisiensi mekanis = 60%

Rolling resistance = 65 lb/ton

Berat truck kosong = 15.000 kg = 16 ton

Berat truck muatan = 26.000 kg = 26 ton

$$R = \frac{410 \times 375 \times 60\%}{2,35} = 39172 \text{ lb}$$

Tabel 13. Rimpul Tersedia

Gear	HP	Cm/S	Km/Jam	Mph	Eff	Rimpul
1	410	105.277862	3.79	2.35	60%	39172
2	410	129.16677	4.65	2.89	60%	31927
3	410	157.777904	5.68	3.53	60%	26138
4	410	211.11128	7.60	4.72	60%	19534
5	410	520.83375	18.75	11.65	60%	7918
6	410	576.38935	20.75	12.89	60%	7155
7	410	648.056074	23.33	14.50	60%	6364
8	410	857.778464	30.88	19.19	60%	4808
9	410	987.223012	35.54	22.08	60%	4177

Tabel 14. Waktu Tempuh Bermuatan

Segmen Jalan	Titik	Berat Kendaraan	Berat Muatan	Berat Total	Jarak		Rr	Gr	Kemiringan	Rp Untuk Rr	Rp Untuk Gr	Total Rp	Gear	Kecepatan			Waktu Tempuh	
		Ton	Ton	Ton	M	Km	Lb/Ton	Lb/Ton		Lb	Lb	Lb		Km/Jam	Menit	Detik		
1	FRONT-S1	15	26	41	32.719	0.032719	65	20	1.45	2665	1189.0	3854	9	35.54	0.06	3.31		
2	S1-S2	15	26	41	88.234	0.088234	65	20	3.47	2665	2845.4	5510	7	23.33	0.23	13.62		
3	S2-S3	15	26	41	22.837	0.022837	65	20	0.03	2665	24.6	2690	9	35.54	0.04	2.31		
4	S3-S4	15	26	41	65.766	0.065766	65	20	6.34	2665	5198.8	7864	5	18.75	0.21	12.63		
5	S4-S5	15	26	41	77.561	0.077561	65	20	4.35	2665	3567.0	6232	7	23.33	0.20	11.97		
6	S5-S6	15	26	41	83.75	0.08375	65	20	4.58	2665	3755.6	6421	6	20.75	0.24	14.53		
7	S6-S7	15	26	41	74.718	0.074718	65	20	1.95	2665	1599.0	4264	8	30.88	0.15	8.71		
8	S7-S8	15	26	41	128.761	0.128761	65	20	0.32	2665	262.4	2927	9	35.54	0.22	13.04		
10	S8-S11	15	26	41	129.576	0.129576	65	20	2.45	2665	2009.0	4674	8	30.88	0.25	15.11		
11	S11-S12	15	26	41	119.144	0.119144	65	20	0.56	2665	459.2	3124	9	35.54	0.20	12.07		
12	S12-S13	15	26	41	77.623	0.077623	65	20	3.54	2665	2902.8	5568	7	23.33	0.30	11.98		
13	S13-S14	15	26	41	86.381	0.086381	65	20	3.56	2665	2919.2	5584	7	23.33	0.22	13.33		
14	S14-S15	15	26	41	66.951	0.066951	65	20	8	2665	6560.0	9225	4	7.6	0.53	31.71		
17	S15-S19	15	26	41	133.978	0.133978	65	20	7.66	2665	6281.2	7631	5	18.75	0.43	25.72		
18	S19-S20	15	26	41	115.165	0.115165	65	20	4.19	2665	3435.8	6101	7	23.33	0.30	17.77		
19	S20-S21	15	26	41	137.57	0.13757	65	20	2.05	2665	1681.0	4346	8	30.88	0.27	16.04		
20	S21-S22	15	26	41	155.845	0.155845	65	20	2.63	2665	2156.6	4822	7	23.33	0.40	24.05		
21	S22-S23	15	26	41	141.919	0.141919	65	20	5.27	2665	4321.4	6986	6	20.75	0.41	24.62		
22	S23-S24	15	26	41	114.759	0.114759	65	20	1.66	2665	1361.2	4026	9	35.54	0.19	11.62		
23	S24-S25	15	26	41	99.681	0.099681	65	20	3.51	2665	2878.2	5543	7	23.33	0.26	15.38		
24	S25-S26	15	26	41	97.02	0.09702	65	20	1.49	2665	1221.8	3887	9	35.54	0.16	9.83		
25	S26-S27	15	26	41	142.983	0.142983	65	20	1.19	2665	975.8	3641	9	35.54	0.24	14.48		
26	S27-S28	15	26	41	126.13	0.12613	65	20	6.31	2665	5174.2	7839	5	18.75	0.40	24.22		
27	S28-S29	15	26	41	87.028	0.087028	65	20	4.03	2665	3304.6	5970	7	23.33	0.22	13.43		
28	S29-S30	15	26	41	51.048	0.051048	65	20	5.78	2665	4739.6	7405	5	18.75	0.16	9.80		
				TOTAL	2457.15	2.46									6.19	371.28		

Maka, berdasarkan perhitungan rimpul untuk waktu tempuh saat kegiatan pengangkutan material overburden dari front hingga disposal yang berjarak 2,3 km dapat ditempuh dalam 6,82 menit dalam keadaan muatan.

B. Waktu Tempuh Kosongan

RP RR = berat kosong x RR

= 15.000 kg x RR

A. Waktu Tempuh Bermuatan

RP RR = berat kosong + berat muatan x RR

= 15.000 kg + 26.000 kg x RR

= 41.000 kg x 65 lb/ton = 2665 lb

RP GR = Grade x berat kosong + berat muatan x GR

= 3,47 % x (15.000 kg + 26.000 kg) x 20

= 3,47 % x 41.000 kg x 20 lb/ton

= 2845,4 lb

Maka, total rimpul yang dibutuhkan adalah 2665 lb + 2845,4 = 5510 lb. Dengan demikian, alat angkut dapat bergerak menggunakan gear 7 dengan kecepatan 23,54 km/jam. Sehingga diperoleh waktu tempuh pada segmen 2 (S1- S2) yaitu :

$$\text{Waktu Tempuh} = \frac{\text{Jarak lintasan}}{\text{Kecepatan}} = \frac{0,088234 \text{ km}}{23,33 \text{ km/jam}} = 0,23 \text{ menit} = 13,62 \text{ detik}$$

= 15.000 kg x 65 lb/ton = 975 lb

RP GR = Grade x berat kosong x GR

= 3,47 % x 15.000 kg x 20

= 3,47 % x 15.000 kg x 20 lb/ton

= 1041,0 lb

Maka, total rimpul yang dibutuhkan adalah 975 lb + 1041,0 = 2016 lb. Dengan demikian, alat angkut dapat bergerak menggunakan gear 9 dengan

kecepatan 35,54 km/jam. Sehingga diperoleh waktu tempuh pada segmen 2 (S1- S2) yaitu :

= 0,15 menit = 8,94 detik

$$\text{Waktu Tempuh} = \frac{\text{Jarak lintasan}}{\text{Kecepatan}}$$

$$= \frac{0,088234 \text{ km}}{35,54 \text{ km/jam}}$$

Tabel 15. Waktu Tempuh Kosongan

Segmen Jalan	Titik	Berat Kendaraan	Berat Muatan	Berat Total	Jarak		Rr	Gr	Kemiringan	Rp Untuk Rr	Rp Untuk Gr	Total Rp	Gear	Kecepatan	Waktu Tempuh	
		Ton	Ton	Ton	M	Km	Lb/Ton	Lb/Ton	%	Lb	Lb	Lb		Km/Jam	Menit	Detik
29	S32-S31	15	0	15	72.475	0.072475	65	20	8	975	2400.0	3375	9	35.54	0.12	7.34
26	S31-S27	15	0	15	126.13	0.12613	65	20	6.31	975	1893.0	2868	9	35.54	0.21	12.78
25	S27-S26	15	0	15	142.983	0.142983	65	20	1.19	975	357.0	1332	9	35.54	0.24	14.48
24	S26-S25	15	0	15	97.02	0.09702	65	20	1.49	975	447.0	1422	9	35.54	0.16	9.83
23	S25-S24	15	0	15	99.681	0.099681	65	20	3.51	975	1053.0	2028	9	35.54	0.17	10.10
22	S24-S23	15	0	15	114.759	0.114759	65	20	1.66	975	498.0	1473	9	35.54	0.19	11.62
21	S23-S22	15	0	15	141.919	0.141919	65	20	5.27	975	1581.0	2556	9	35.54	0.24	14.38
20	S22-S21	15	0	15	155.845	0.155845	65	20	2.63	975	789.0	1764	9	35.54	0.26	15.79
19	S21-S20	15	0	15	137.57	0.13757	65	20	2.05	975	615.0	1590	9	35.54	0.23	13.94
18	S20-S19	15	0	15	115.165	0.115165	65	20	4.19	975	1257.0	2232	9	35.54	0.19	11.67
17	S19-S18	15	0	15	133.978	0.133978	65	20	7.66	975	2298.0	3273	9	35.54	0.23	13.57
16	S18-S17	15	0	15	46.363	0.046363	65	20	5.21	975	1563.0	2538	9	35.54	0.08	4.70
15	S17-S16	15	0	15	88.253	0.088253	65	20	3.34	975	1002.0	1977	9	35.54	0.15	8.94
12	S16-S12	15	0	15	77.623	0.077623	65	20	3.54	975	1062.0	2037	9	35.54	0.13	7.86
11	S12-S11	15	0	15	119.144	0.119144	65	20	0.56	975	168.0	1143	9	35.54	0.20	12.07
10	S11-S10	15	0	15	129.576	0.129576	65	20	2.45	975	735.0	1710	9	35.54	0.22	13.13
9	S10-S9	15	0	15	127.886	0.127886	65	20	1.56	975	468.0	1443	9	35.54	0.22	12.95
7	S9-S6	15	0	15	74.718	0.074718	65	20	1.95	975	585.0	1560	9	35.54	0.13	7.57
6	S6-S5	15	0	15	83.75	0.08375	65	20	4.58	975	1374.0	2349	9	35.54	0.14	8.48
5	S5-S4	15	0	15	77.561	0.077561	65	20	4.35	975	1305.0	2280	9	35.54	0.13	7.86
4	S4-S3	15	0	15	65.766	0.065766	65	20	6.34	975	1902.0	2877	9	35.54	0.11	6.66
3	S3-S2	15	0	15	22.837	0.022837	65	20	0.03	975	9.0	984	9	35.54	0.04	2.31
2	S2-S1	15	0	15	88.234	0.088234	65	20	3.47	975	1041.0	2016	9	35.54	0.15	8.94
1	S1-FRONT	15	0	15	32.719	0.032719	65	20	1.45	975	435.0	1410	9	35.54	0.06	3.31
				TOTAL	2162.40	2.37									4.00	240.266

Maka, berdasarkan perhitungan rimpul untuk waktu tempuh saat kegiatan pengangkutan material overburden dari front hingga disposal yang berjarak 2,3 km dapat ditempuh dalam 4 menit dalam keadaan kosong.

3. Dampak Geometri Jalan Tambang Terhadap Produktivitas Alat Angkut

A. Lebar Jalan Kondisi Lurus

Pengaruh jalan lurus terhadap produktivitas alat angkut dapat dilihat pada Tabel 16.

Tabel 16. Waktu Tempuh Pada Jalan Lurus

Segmen	Titik	Waktu tempuh (Detik)			
		Sebelum Perbaikan		Sesudah Perbaikan	
		Muatan	Kosongan	Muatan	Kosongan
1	Front-S1	6.31	6.28	3.31	3.31
3	S2-S3	4.92	4.38	2.31	2.31
5	S4-S5	15.32	14.89	11.97	7.86
6	S5-S6	16.22	15.59	14.53	8.48
7	S6-S7	8.76	7.73	8.71	5.57
8	S7-S8	19.87		13.04	
9	S9-S10		19.73		12.95
10	S10-S11	15.17	15.11	15.11	13.13
11	S11-S12	14.08	13.49	12.07	12.07
13	S13-S14	14.59		13.33	
14	S14-S15	31.85		31.71	
15	S16-S17		15.31		8.94
16	S17-S18		7.15		4.7

17	S18-S19	63.81	34.60	25.72	13.57
18	S19-S20	17.96	17.37	17.77	11.67
19	S20-S21	16.55	16.04	16.04	13.94
22	S23-S24	17.83	17.71	11.62	11.62
23	S24-S25	15.53	15.38	15.38	10.1
24	S25-S26	15.06	14.97	9.83	9.83
25	S26-S27	22.15	22.06	14.48	14.48
26	S27-S28	26.31	25.23	24.22	12.78
27	S28-S29	15.52		13.43	

B. Lebar Jalan Kondisi Tikungan

Pengaruh jalan tikungan terhadap produktivitas alat angkut dapat dilihat pada Tabel 17.

Tabel 17. Waktu Tempuh Pada Jalan Tikungan

Segmen	Titik	Waktu Tempuh (Detik)			
		Sebelum Perbaikan		Sesudah Perbaikan	
		Muatan	Kosongan	Muatan	Kosongan
2	S1-S2	16.94	14.91	13.62	8.94
4	S3-S4	13.61	12.79	12.63	6.66
12	S12-S13	12.94	11.78	11.98	7.86
20	S21-S22	24.17	23.35	24.05	15.79
21	S22-S23	24.83	24.74	24.62	14.38
28	S29-S30	10.34		9.8	
29	S31-S32		13.92		7.34

C. Kemiringan Jalan (Grade)

Pengaruh kemiringan jalan (grade) terhadap

produktivitas alat angkut dapat dilihat pada Tabel 18.

Tabel 18. Waktu Tempuh Pada Grade Jalan

Segmen	Titik	Waktu Tempuh (Detik)			
		Sebelum Perbaikan		Sesudah Perbaikan	
		Muatan	Kosongan	Muatan	Kosongan
1	Front-S1	6.31	6.28	3.31	3.31
2	S1-S2	16.94	14.91	13.62	8.94
3	S2-S3	4.92	4.38	2.31	2.31
4	S3-S4	13.61	12.79	12.63	6.66
5	S4-S5	15.32	14.89	11.97	7.86
6	S5-S6	16.22	15.59	14.53	8.48
7	S6-S7	8.76	7.73	8.71	7.57
8	S7-S8	19.87		13.04	
9	S9-S10		19.73		12.95
10	S10-S11	15.17	15.11	15.11	13.13
11	S11-S12	14.08	13.49	12.07	12.07
12	S12-S13	12.94	11.78	11.98	7.86
13	S13-S14	14.59		13.33	
14	S14-S15	31.85		31.71	
15	S16-S17		15.31		8.94
16	S17-S18		7.15		4.7
17	S18-S19	63.81	25.72	63.46	13.57
18	S19-S20	17.96	17.37	17.77	11.67
19	S20-S21	16.55	16.04	16.04	13.94
20	S21-S22	24.17	23.35	24.05	15.79
21	S22-S23	24.83	24.74	24.62	14.38
22	S23-S24	17.83	17.71	11.62	11.62
23	S24-S25	15.53	15.38	15.38	10.1
24	S25-S26	15.06	14.97	9.83	9.83
25	S26-S27	22.15	22.06	14.48	14.38
26	S27-S28	26.31	25.23	24.22	12.78
27	S28-S29	15.52		13.44	
28	S29-S30	10.34		9.8	
29	S31-S32		13.92		7.34

D. Jari-jari Tikungan dan Superelevasi

Jari-jari tikungan yang terlalu kecil memaksa alat angkut untuk mengurangi kecepatan secara signifikan guna menjaga kestabilan saat berbelok. Kondisi ini menambah waktu tempuh dan mengurangi jumlah ritasi per jam, sehingga produktivitas menurun. Selain itu, jari-jari kecil sering menimbulkan blind spot atau titik buta yang membatasi jarak pandang operator, sehingga risiko tabrakan atau senggolan dengan unit lain semakin tinggi, terutama pada jalur dua arah.

Superelevasi yang tidak sesuai standar dapat mengurangi kestabilan kendaraan, terutama pada tikungan dengan kecepatan tinggi. Superelevasi yang terlalu rendah membuat gaya sentrifugal tidak

4. Cycle Time

Waktu edar aktual alat angkut sebelum perbaikan jalan dapat dilihat pada Tabel 19.

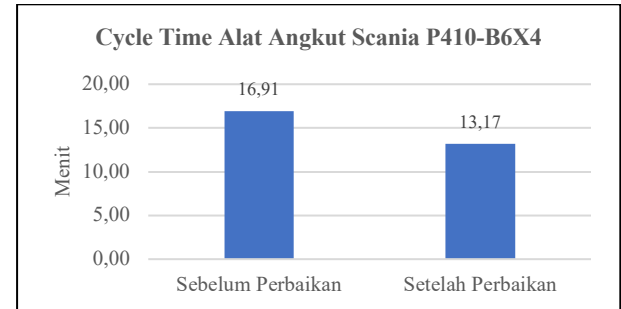
Tabel 19. Waktu Edar Aktual Sebelum Perbaikan

Manuver Loading (m)	Loading (m)	Hauling Isi (m)	Manuver Dumping (m)	Dumping (m)	Hauling Kosong (m)	Total
0.54	1.34	7.68	0.55	0.55	6.26	16.91

Waktu edar aktual alat angkut sebelum perbaikan jalan dapat dilihat pada Tabel 20.

Tabel 20. Waktu Edar Sesudah Perbaikan

Manuver Loading (m)	Loading (m)	Hauling Isi (m)	Manuver Dumping (m)	Dumping (m)	Hauling Kosong (m)	Total
0.54	1.34	6.19	0.55	0.55	4.00	13.17



Gambar 10. Perbandingan Cycle Time

5. Produktivitas Sebelum Perbaikan

- Waktu tersedia alat angkut = 600 jam
- Waktu efektif alat angkut = 423,6 jam
- Cycle time = 16,91 menit
- Jumlah pengisian vessel = 5 passing
- Kapasitas bucket = 3,7 bcm
- Swell factor = 0,85
- Fill factor = 85%

Maka Perhitungannya adalah

$$Q = \frac{3600}{CT} \times n \times Kb \times bff \times \{eff\} \times \{sf\}$$

$$Q = \frac{3600}{16,91} \times 5 \times 3,7 \times 85 \{70\} \times \{0,85\}$$

$$= 33,72 \text{ BCM/Jam}$$

6. Produktivitas Setelah Perbaikan

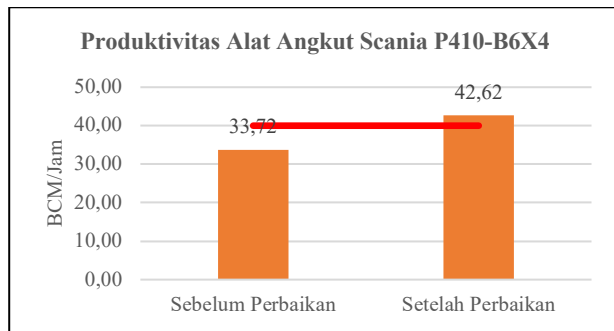
- Waktu tersedia alat angkut = 600 jam
- Waktu efektif alat angkut = 423,6 jam
- Cycle time = 13,17 menit
- Jumlah pengisian vessel = 5 passing
- Kapasitas bucket = 3,7 bcm
- Swell factor = 0,85
- Fill factor = 85%

Maka Perhitungannya adalah

$$Q = \frac{3600}{CT} \times n \times Kb \times bff \times \{eff\} \times \{sf\}$$

$$Q = \frac{3600}{13,17} \times 5 \times 3,7 \times 85 \{70\} \times \{0,85\}$$

$$= 42,62 \text{ BCM/Jam}$$



Gambar 11. Perbandingan Produktivitas

Tabel 21. Peningkatan Produktivitas

Produktivitas Sebelum Perbaikan (BCM/Jam)	Produktivitas Setelah Perbaikan (BCM/Jam)	Peningkatan	
		BCM/Jam	%
33,72	42,62	8,9	33,72

KESIMPULAN

1. Geometri Jalan Angkut Pit Timur

Pada Pit Timur PT Satria Alam Manunggal, jalan angkut dari front menuju disposal yang berjarak $\pm$ 2,3 km atau kurang lebih 2300 m. Secara teoritis geometri jalan yang ada masih ada yang belum memenuhi standar spesifikasi alat angkut yang melewatinya.

- Lebar jalan lurus di lapangan mulai dari 8,009 meter – 18,001 meter. Sedangkan secara teoritis lebar jalan minimum pada jalan lurus untuk dua jalur adalah 9,10 meter dan lebar jalan minimum pada jalan lurus untuk satu arah adalah 5,20 meter.
- Lebar jalan tikungan dilapangan mulai dari 9,048 meter – 16,890 meter. Sedangkan dalam perhitungan teoritis lebar jalan minimum untuk jalan tikungan dua arah adalah 16,29 meter dan pada jalan tikungan satu arah adalah 9,31 meter.
- Kemiringan jalan angkut (grade) berkisar antara 0,03% - 11,25%. Sedangkan standar PT Satria Alam Manunggal Site TOP adalah 8%.
- Jari-jari tikungan pada hasil penelitian berkisar antara 13,321 meter – 66,531 meter. Sedangkan untuk jari-jari minimum
- berdasarkan perhitungan teoritis untuk alat angkut Scania P410-B6X4 yang standar adalah 14,38 meter.
- Kemiringan melintang atau cross slope difungsikan agar mencegah air menggenang pada permukaan jalan dari air hujan. Pembuatan cross slope dapat dilakukan dengan menambah tinggi bagian tengah jalan angkut atau poros jalan angkut sebesar 9,10 cm untuk jalan dua jalur dan 5,2 cm untuk jalan satu jalur lebih tinggi dari sisi jalan angkut untuk sisi muatan

dan kosongan atau sebesar 2% beda tinggi.

- Pada kedua sisi jalan dari front hingga disposal sudah memiliki tanggul pengaman (safety berm).
 - Jalan dari front hingga disposal sudah memiliki saluran penirisan.
- Analisis Pengaruh Geometri Jalan Tambang Terhadap Produktivitas Alat Angkut

Produktivitas alat angkut pada kegiatan overburden removal di PT Satria Alam Manunggal Site TOP terdapat peningkatan dari sebelum perbaikan ke setelah perbaikan sebesar 8,90 BCM/Jam dari 33,72 BCM/Jam ke 42,62 BCM/Jam atau mengalami peningkatan sebesar 20,88% dari produktivitas sebelum perbaikan untuk DT Scania P410-B6X4.

DAFTAR PUSTAKA

- Achida, M., Rizky Awaliah Nafiu Program Studi Teknik Pertambangan, W., Ilmu Dan Teknologi Kebumihan, F., & Halu Oleo Kampus Bumi Hijau Tri Dharma Anduonohu, U. (2021). Evaluasi Dan Redesign Geometri Jalan Angkut Tambang Dari Pit Alaska Menuju Stockpile Pada Pt. Bumi Nikel Nusantara Kabupaten Konawe Utara. In Jurnal Riset Teknologi Pertambangan (J-Ristam (Vol. 1, Issue 2).
- Ahmad. (2018). Anamoli Kewenangan: Studi Pengaturan Jalan Umum Dalam Kegiatan Usaha Pertambangan Mineral Dan Batubara Di Sumatera Selatan. Jurnal Hukum Replik.
- Budi Listyawan, A., Nur Sahid, M., Slamet Mulyono, G., & Khairurizal Fadhlullah, H. (2021). Analysis Of Heavy Equipment Productivity And Costs Of Earthwork In The Project Of Pondok Aren Hospital South Tangerang.
- Cahyadi, R., Ade Isnaeni, K. M., Harpiandi, D., Program,), Pertambangan, S. T., Politeknik, B., Palembang, A., & Corresponding Author, I. (2022). Optimalisasi Produktivitas Alat Gali Muat Terhadap Pengupasan Overburden Di Pt Xyz The Optimization Of Digging-Loading Equipment On The Overburden Removal At Pt Xyz (Vol. 13).
- Dede Yusup. (2022). Kajian Teknis Geometri Jalan Angkut Tambang Pada Kegiatan Pengupasan Overburden Pt. Bara Prima Pratama Kabupaten Indragiri Hilir Provinsi Riau.
- Gusman, S., Studi Teknik Pertambangan Batubara Politeknik Akamigas Palembang, P., & Corresponding Author, I. (2021). The

- Evaluation Of Overburden Ripping Production To Achieve The Production Target Of 190.000 Bcm In March 2021 At Pit Crm Pt Duta Alam Sumatera, Lahat, South Sumatra (Vol. 12).
- Hadi Zulkarnain Ladianto. (2019). Evaluasi Produktivitas Alat Muat Dan Alat Angkut Untuk Memenuhi Target Produksi Bulanan Pengupasan Overburden pada Penambangan Nikel Di Blok B Pt. Paramitha Persada Tama Provinsi Sulawesi Tenggara.
- Halawa Analiser. (2021). Analisa Geometri Jalan Angkut Guna Meningkatkan Cycletime Dan Produktivitas Alat Angkut Pada Kegiatan Pengupasan Overburden Dari Front Pengupasan Ke Disposal Area Pada Kegiatan Penambangan Batubara. *Jurnal Sains Dan Teknologi Istp*, 16, 1–16.
- Jalan, J., Jembatan, D., Litbang, P., & Dan Jembatan, J. (2009). Pengkinian Manual Kapasitas Jalan Indonesia 1997 Erwin Kusnandar (Vol. 26, Issue 2).
- Jawad, A. A., Mulyono, A., & Zulziar, M. (2022). Proses Alignment Mesin Uji Rolling Resistance Menggunakan Ban Referensi Dengan Metode Regresi Linier Sederhana Pada Lab X Dalam Pemenuhan Regulasi Iso 28580. In *Jitmi* (Vol. 5).
- Keputusan-Menteri-Esdm-Nomor-1827-K-30-Mem-2018. (2018).
- Muhammad Dwi Nanda, Yuliadi, & Zaenal. (2021). Kajian Geometri Jalan Tambang Berdasarkan Aashto Dan Kepmen No 1827/K/30/Mem/2018 Pada Penambangan Andesit Di Pt Xyz, Kecamatan Rumpin, Kabupaten Bogor, Provinsi Jawa Barat. *Jurnal Riset Teknik Pertambangan*, 1(2), 107–116. <https://doi.org/10.29313/Jrtp.V1i2.403>
- Peraturan Menteri Esdm Nomoe 26. (2018). Peraturan Menteri Esdm Nomor 26 Tahun 2018.
- Peraturan Pemerintah Republik Indonesia. (N.D.).
- Poalahi Salu, S., Syafar, M., & Rahman Rustan, F. (2024). Stabilita || *Jurnal Ilmiah Teknik Sipil* Evaluasi Geometri Jalan Angkut Dari Front Penambangan Menuju Stockpile Terhadap Pencapaian Target Produksi Pada Pt. St Nickel Resources Kabupaten Konawe, Provinsi Sulawesi Tenggara.
- Suwandhi, A. (2004). Perencanaan Jalan Tambang.
- Vina Nicke Suri. (2020). Kajian Teknis Geometri Jalan Angkut Dari Front Menuju Stockpile Di Pt Seluma Prima Coal Kabupaten Sarolangun Provinsi Jambi.
- Warman, N., Hasan, H., Winarno, A., Trides, T., & Devy, S. D. (N.D.). Studi Pengaruh Geometri Jalan Akses Terhadap Produktivitas Alat Angkut Dalam Mencapai Target Produksi Overburden Pada Pt Energi Cahaya Industritama (The Study Of The Effect Of The Geometry Of The Access Road On The Productivity Of The Conveyance In Achieving The Overburden Production Target At Pt Energi Cahaya Industritama). In *Jurnal Teknologi Mineral Ft Unmul* (Vol. 10, Issue 1).
- Waruwu, M., Natijatulpuat, S., Utami, P. R., Yanti, E., & Rusydiana, M. (2025). Metode Penelitian Kuantitatif: Konsep, Jenis, Tahapan Dan Kelebihan. *Jurnal Ilmiah Profesi Pendidikan*, 10(1), 917–932. <https://doi.org/10.29303/Jipp.V10i1.3057>
- Wildan Basuki. (2020). Perhitungan Kebutuhan Unit Dump Truck berdasarkan match Factor Dan Teori Antrian Pada Penambangan Batubara Di Pt. Kamalindo Sompurna Kecamatan Pelawan Kabupaten Sarolangun Provinsi Jambi.