

**ANALISIS DESAIN KELAYAKAN JALAN TAMBANG TERHADAP
PRODUKTIVITAS PRODUKSI PT PBT: STUDI KASUS JALAN
HAULING OB PBT**

(Tesis)

**Oleh
Mutia Septriandini
2225011013**



**PROGRAM PASCASARJANA MAGISTER TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG
2026**

DAFTAR ISI

DAFTAR ISI	i
DAFTAR GAMBAR	iii
DAFTAR TABEL	iv
DAFTAR GRAFIK	v
I. PENDAHULUAN	1
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Rumusan Masalah	3
1.3. Tujuan Penelitian	4
1.4. Manfaat Penelitian	4
1.5. Batasan Masalah.....	4
II. TINJAUAN PUSTAKA	6
2.1. Konsep Jalan Tambang	6
2.2. Desain Jalan Tambang	7
2.3. Kelayakan Jalan Tambang	16
2.4. Pengaruh Jalan Tambang terhadap Produktivitas Produksi.....	17
2.5. Fuel Consumption dan Biaya Operasional.....	18
2.6. Benefit Cost Ratio	18
2.7. Penelitian Terdahulu	22
III. METODE PENELITIAN	26
3.1. Metode Penelitian.....	26
3.2. Tahapan Penelitian	26
3.3. Prosedur Penelitian	31
3.4. Bagan Alir Penelitian	32
IV. HASIL DAN PEMBAHASAN	33
4.1. Kondisi Umum Lokasi Penelitian	33
4.2. Penyajian Data	35

4.3. Pengolahan Data.....	41
4.4. Analisis Data	48
4.5. Perencanaan Ulang (Redesign) Jalan Hauling OB PBT	49
4.6. Analisis Efisiensi Konsumsi Bahan Bakar dan Biaya Operasional	58
4.7. Analisis Benefit Cost Ratio (BCR)	64
4.8. Komparasi dengan Penelitian Sebelumnya.....	69
V. KESIMPULAN DAN SARAN	76
5.1. Kesimpulan	76
5.2. Saran.....	77
DAFTAR PUSTAKA	78

DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
1. Lebar Jalan Hauling pada Jalan Lurus	8
2. Lebar Jalan pada Tikungan	9
3. Superelevasi	11
4. Bagan Alir Penelitian	32
5. Peta Lokasi Penelitian Jalan Hauling Overburden PT PBT.....	34
6. Foto Alat Angkut	35
7. Lebar Jalan Hauling OB PBT	36
8. Alat Ukur Kecepatan Alat Angkut.....	38

DAFTAR TABEL

Tabel	Halaman
1. Penelitian Terdahulu	22
2. Data Geometri Jalan Hauling OB PBT Aktual	36
3. Kecepatan Alat Angkut Aktual	38
4. Waktu Hauling Per Segmen Aktual	40
5. Lebar Jalan Hauling OB PBT Jalur Lurus Aktual	42
6. Lebar Jalan Hauling Jalur Tikungan Aktual	43
7. Kemiringan Jalan (Grade) Aktual	44
8. Kelayakan Jalan Hauling OB PBT Aktual.....	48
9. Lebar Jalan Hauling OB PBT Redesign.....	49
10. Grade Jalan Hauling OB PBT Redesign	50
11. Kelayakan Jalan Hauling OB PBT Redesign.....	51
12. Kecepatan Alat Angkut Redesign	53
13. Waktu Hauling Per Segmen Redesign	54
14. Perbandingan Kinerja Alat Angkut Aktual dan Redesign	57
15. Rata-Rata Konsumsi Bahan Bakar 6 Unit Alat Angkut.....	59
16. Efisiensi Fuel Consumption Redesign	60
17. Perbandingan Rasio Bahan Bakar Aktual dan Redesign	61
18. Perbandingan Perhitungan Biaya Operasional Aktual dan Redesign	62
19. Perbandingan Biaya Operasional Per BCM Aktual dan Redesign	64
20. Biaya Pemeliharaan Jalan Periode Operasional.....	67
21. Rincian Biaya Redesign dan Pemeliharaan Jalan Hauling OB PBT.....	68

DAFTAR GRAFIK

Grafik	Halaman
1. Perbandingan Kecepatan Alat Angkut Aktual dan Redesign	53

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Kegiatan hauling pada sistem tambang terbuka merupakan salah satu tahapan operasional yang sangat mempengaruhi kelancaran produksi tambang. Dalam kegiatan tersebut, alat angkut digunakan untuk memindahkan material overburden (OB) dari front penambangan menuju disposal melalui jalan hauling yang telah disediakan perusahaan. Jalan hauling menjadi infrastruktur utama yang mendukung kelancaran pengangkutan material karena seluruh aktivitas transportasi alat angkut bergantung pada kondisi jalan yang dilalui. Oleh karena itu, jalan tambang harus dirancang sesuai standar teknis agar mampu mendukung kegiatan pengangkutan secara aman, efektif, dan efisien (Kepmen ESDM, 2018).

Secara teknis, jalan tambang harus memenuhi beberapa parameter geometrik, seperti lebar jalan, grade, cross slope, superelevasi, dan radius tikungan minimum. Parameter tersebut berfungsi untuk menjaga kestabilan alat angkut, mengurangi hambatan gerak kendaraan, serta meningkatkan efisiensi operasional alat angkut (AASHTO, 1973). Namun demikian, kondisi aktual jalan hauling pada kegiatan pertambangan seringkali belum sepenuhnya memenuhi standar teknis yang berlaku. Kondisi jalan yang sempit, grade yang terlalu besar, permukaan jalan yang tidak rata, serta tikungan yang kurang memadai dapat meningkatkan rolling resistance dan grade resistance sehingga kecepatan alat angkut menurun dan cycle time menjadi lebih lama (Putra dkk., 2020). Cycle time merupakan salah satu parameter utama yang menentukan produktivitas alat angkut, dimana semakin besar waktu siklus maka produktivitas alat akan semakin rendah (Peurifoy, 2011).

Selain mempengaruhi produktivitas, kondisi geometrik jalan hauling juga berdampak terhadap konsumsi bahan bakar dan biaya operasional alat angkut. Jalan hauling dengan grade tinggi dan permukaan tidak rata menyebabkan alat bekerja dengan beban yang lebih besar sehingga fuel consumption meningkat (Nurkhamim dkk., 2023). Semakin besar hambatan yang dialami alat angkut, maka kebutuhan tenaga mesin dan konsumsi bahan bakar juga akan semakin besar (Caterpillar Inc., 2019). Kondisi tersebut menyebabkan biaya operasional pengangkutan material menjadi lebih tinggi dan efisiensi produksi menurun (Rizky dkk., 2020).

Beberapa penelitian terdahulu menunjukkan bahwa perbaikan geometri jalan hauling mampu meningkatkan produktivitas alat angkut dan menurunkan hambatan operasional. Produktivitas alat angkut mengalami peningkatan setelah dilakukan perbaikan geometri jalan karena kecepatan alat meningkat dan cycle time menjadi lebih rendah (Sepriadi dkk., 2017). Perbaikan geometri jalan juga terbukti meningkatkan produktivitas alat angkut dari $\pm 102\text{--}107$ BCM/jam menjadi $117\text{--}126$ BCM/jam (Simaremare dkk., 2024). Selain itu, redesign jalan hauling berdasarkan standar teknis mampu meningkatkan produktivitas dan menurunkan cycle time alat angkut secara signifikan (Wally dkk., 2025). Penelitian lain juga menunjukkan bahwa kondisi geometrik jalan hauling memiliki hubungan yang kuat terhadap kelancaran operasional alat angkut, produktivitas produksi, serta efisiensi kegiatan hauling (Silalahi dkk., 2018; Kresno dkk., 2022; Nurullah dkk., 2024).

Meskipun demikian, sebagian besar penelitian sebelumnya masih berfokus pada pengaruh geometri jalan terhadap produktivitas dan cycle time alat angkut. Kajian yang menganalisis hubungan antara kelayakan desain jalan hauling, produktivitas produksi, fuel consumption, biaya operasional, dan kelayakan ekonomi redesign jalan secara terpadu masih terbatas. Padahal, parameter-parameter tersebut saling berkaitan dalam menentukan efisiensi

kegiatan hauling tambang. Kondisi tersebut menunjukkan adanya research gap antara penelitian terdahulu dengan kebutuhan analisis operasional di lapangan.

Berdasarkan pengamatan awal pada jalan hauling overburden (OB) PT Pusaka Bumi Transportasi (PBT), diduga terdapat beberapa segmen jalan yang belum memenuhi standar geometrik jalan tambang, khususnya pada parameter lebar jalan, grade, dan tikungan jalan. Kondisi tersebut berpotensi menyebabkan penurunan kecepatan alat angkut, meningkatnya cycle time, meningkatnya fuel consumption, serta menurunkan efisiensi produksi dan meningkatkan biaya operasional perusahaan. Sehingga hipotesis dalam penelitian ini adalah bahwa kelayakan desain jalan hauling memiliki pengaruh terhadap produktivitas produksi alat angkut pada kegiatan pengangkutan overburden di PT PBT. Semakin baik kondisi geometrik jalan hauling sesuai standar teknis, maka produktivitas alat angkut akan meningkat dan biaya operasional menjadi lebih efisien. Oleh karena itu, penelitian ini dilakukan untuk menganalisis kelayakan desain jalan hauling overburden (OB) di PT Pusaka Bumi Transportasi (PBT) berdasarkan standar teknis yang berlaku serta menganalisis pengaruhnya terhadap produktivitas produksi, fuel consumption, biaya operasional, dan kelayakan ekonomi redesign jalan hauling melalui pendekatan Benefit Cost Ratio (BCR).

1.2. Rumusan Masalah

Mengingat pentingnya jalan tambang dalam proses penambangan, rumusan masalah dalam penelitian ini adalah:

1. Apakah Jalan Hauling OB PBT telah memenuhi standar kelayakan jalan?
2. Bagaimana pengaruh desain Jalan Hauling OB PBT terhadap produktivitas produksi di PT PBT?
3. Bagaimana pengaruh Fuel Consumption ke biaya operasional produksi setelah dilakukan redesign Jalan Hauling OB PBT terhadap produktivitas produksi di PT PBT?

1.3. Tujuan Penelitian

Penelitian ini bertujuan untuk:

1. Menganalisis Jalan *Hauling* OB PT PBT telah memenuhi standar kelayakan jalan tambang.
2. Menganalisis pengaruh desain Jalan *Hauling* OB PT PBT terhadap produktivitas produksi di PT PBT.
3. Menganalisis pengaruh *fuel consumption* terhadap biaya operasional produksi setelah dilakukan *redesign* Jalan *Hauling* OB PT PBT serta dampaknya terhadap produktivitas produksi di PT PBT.

1.4. Manfaat Penelitian

Penelitian ini diharapkan dapat memberikan manfaat sebagai berikut:

1. Bagi Perusahaan: Memberikan rekomendasi untuk perbaikan desain jalan tambang guna meningkatkan efisiensi dan produktivitas.
2. Bagi Akademisi: Menambah referensi ilmiah terkait desain jalan tambang dan kaitannya dengan produktivitas produksi.
3. Bagi Praktisi Industri Tambang: Memberikan wawasan terkait pentingnya perencanaan infrastruktur tambang yang memenuhi standar kelayakan.

1.5. Batasan Masalah

Dalam penelitian ini, terdapat beberapa batasan masalah yang perlu dijelaskan untuk memperjelas ruang lingkup penelitian dan menghindari pembahasan yang terlalu luas. Adapun batasan masalah dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Fokus Penelitian pada Jalan *Hauling* OB PBT: Penelitian ini hanya akan fokus pada analisis desain kelayakan jalan tambang yang berada di area Jalan *Hauling* OB PBT yang digunakan sebagai jalur transportasi utama.

2. Aspek Desain dan Kelayakan Jalan Tambang: Penelitian ini akan membatasi pembahasan pada aspek desain jalan, yang meliputi geometri jalan serta kapasitas jalan yang ada. Penelitian ini tidak akan membahas aspek desain jalan yang lebih luas atau di luar area jalan tambang yang diteliti.
3. Analisis Produktivitas Produksi: Penelitian ini akan menganalisis pengaruh desain kelayakan jalan terhadap produktivitas produksi PT PBT. Pengukuran produktivitas akan terbatas pada waktu transportasi, biaya operasional, dan volume produksi yang dihauling melalui jalan tersebut, tanpa membahas faktor eksternal yang dapat memengaruhi produktivitas selain jalan tambang.
4. Data dan Periode Penelitian: Data yang digunakan dalam penelitian ini bersumber dari PT PBT yang terkait dengan kondisi operasional Jalan Hauling OB PBT. Penelitian ini tidak akan mencakup data historis yang lebih lama atau prediksi jangka panjang.
5. Asumsi yang Digunakan: Penelitian ini mengasumsikan bahwa data yang digunakan dalam analisis adalah data yang valid dan representatif untuk kondisi operasional saat ini. Selain itu, penelitian ini menganggap bahwa kondisi medan dan cuaca di lokasi tambang relatif stabil dan tidak mengalami perubahan drastis selama periode penelitian.
6. Lingkup Analisis: Penelitian ini tidak akan membahas perbaikan teknis lebih lanjut terkait perancangan dan konstruksi jalan tambang secara mendalam. Fokus utama penelitian adalah pada evaluasi kelayakan jalan yang ada dan pengaruhnya terhadap efisiensi transportasi serta produktivitas produksi.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Konsep Jalan Tambang

Setiap kegiatan penambangan memerlukan sarana infrastruktur berupa jalan tambang sebagai penunjang utama dalam kegiatan operasional. Jalan tambang merupakan fasilitas transportasi yang digunakan untuk menunjang mobilitas alat berat dan distribusi material dalam area penambangan (Anwar dkk., 2021). Jalan tambang atau jalan produksi adalah jalan yang berada di dalam wilayah pertambangan yang digunakan oleh alat mekanis dan unit penunjang lainnya dalam kegiatan pengangkutan tanah penutup (overburden), bahan galian, serta kegiatan operasional lainnya (Kepmen ESDM, 2018).

Jalan tambang memiliki peranan penting sebagai penghubung antar lokasi kegiatan penambangan, seperti area penambangan (front), lokasi penimbunan (disposal), stockpile, serta fasilitas pendukung lainnya. Fungsi utama jalan tambang adalah untuk menjamin kelancaran distribusi material sehingga kegiatan produksi dapat berjalan secara optimal (Saputra, 2023). Selain itu, jalan tambang juga harus mampu menjamin aspek keselamatan kerja serta efisiensi operasional alat angkut.

Kondisi jalan tambang yang baik akan meningkatkan performa alat angkut, memperpanjang umur alat, serta menurunkan biaya operasional (Caterpillar Inc., 2019). Oleh karena itu, perencanaan dan pengelolaan jalan tambang harus dilakukan secara sistematis dengan memperhatikan standar teknis yang berlaku.

2.2. Desain Jalan Tambang

Desain jalan tambang merupakan bagian penting dalam perencanaan kegiatan penambangan yang mencakup aspek geometri, struktur perkerasan, serta sistem drainase jalan. Desain jalan yang baik harus mampu mendukung aktivitas pengangkutan material secara efisien dan aman (Kepmen ESDM, 2018).

Jalan hauling memiliki pengaruh signifikan terhadap kelancaran operasi penambangan, khususnya dalam kegiatan pengangkutan material (Isti dkk., 2024). Kondisi jalan yang tidak sesuai dengan standar teknis dapat menyebabkan hambatan operasional yang berdampak pada penurunan produktivitas alat angkut. Oleh karena itu, diperlukan perencanaan desain jalan yang mempertimbangkan dimensi alat angkut, kondisi medan, serta volume lalu lintas.

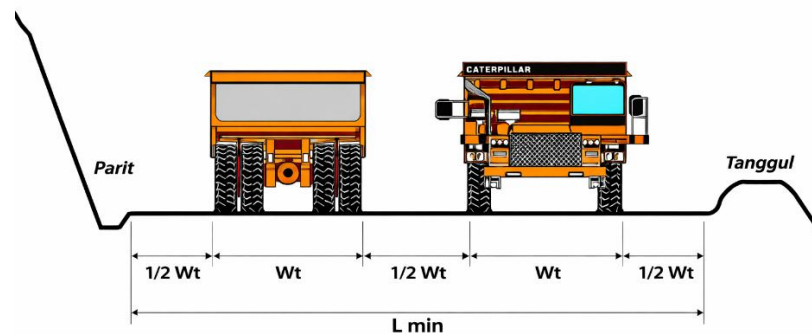
Perbaikan desain jalan tambang dapat dilakukan melalui penyesuaian parameter geometrik seperti lebar jalan, kemiringan (grade), dan radius tikungan (Nainggolan dkk., 2023). Perubahan desain tersebut bertujuan untuk meningkatkan efisiensi pergerakan alat angkut serta mengurangi hambatan operasional.

Desain jalan tambang harus memperhatikan aspek teknis seperti daya dukung tanah dasar, geometri jalan, serta stabilitas lereng di sekitar jalan (Kepmen ESDM, 2018). Hal ini bertujuan untuk memastikan jalan tambang dapat digunakan secara aman dalam jangka waktu yang panjang. Dalam geometri jalan hauling terdapat beberapa hal penting yang harus diperhatikan antara lain:

2.2.1. Lebar Jalan Hauling Pada Jalur Lurus

Lebar jalan minimum pada jalan lurus dengan lajur ganda ataupun lebih harus ditambah dengan setengah lebar alat angkut pada bagian

tepi kiri dan kanan jalan pada Gambar 1. (AASHTO, 1973). Serta lebar jalan harus disesuaikan dengan dimensi kendaraan serta mempertimbangkan ruang bebas samping (clearance) untuk menghindari potensi kecelakaan. Lebar jalan ditentukan berdasarkan lebar kendaraan rencana yang ditambah dengan ruang bebas samping untuk mengantisipasi deviasi pergerakan kendaraan selama operasi (AASHTO, 1973). Dalam kegiatan pertambangan, dimensi alat angkut seperti dump truck memiliki ukuran yang besar sehingga memerlukan lebar jalan yang lebih luas dibandingkan jalan umum.



Sumber : (Yudhiatira, 2024)

Gambar 1. Lebar Jalan Hauling pada Jalan Lurus

Lebar jalan hauling untuk dua arah umumnya ditentukan sebesar 3 hingga 3,5 kali lebar alat angkut terbesar yang digunakan (Caterpillar Inc., 2019). Penambahan lebar ini bertujuan untuk memberikan ruang aman bagi kendaraan saat berpapasan serta mengurangi risiko kecelakaan. Selain itu, lebar jalan yang memadai juga dapat meningkatkan kecepatan operasi alat angkut dan mengurangi waktu siklus. Lebar jalan minimum pada jalan lurus dengan lajur ganda atau lebih harus ditambah dengan setengah lebar alat angkut pada bagian tepi kiri dan kanan jalan (AASHTO, 1973). Dengan begitu rumus lebar jalan angkut minimum pada jalan lurus yaitu sebagai berikut:

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

Keterangan:

L_{min} = lebar jalan hauling minimum pada jalan lurus, meter.

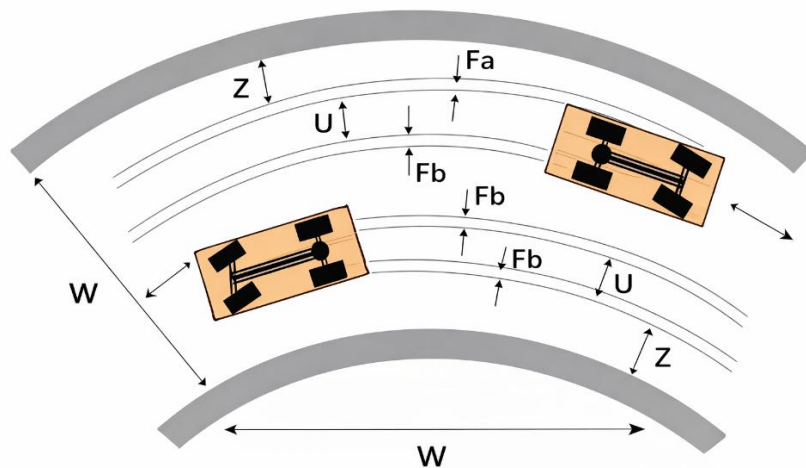
n = jumlah jalur

Wt = lebar dump truck, meter.

Sumber : (Neny dkk., 2023)

2.2.2. Lebar Jalan Hauling Pada Jalur Tikungan

Lebar jalan hauling pada tikungan selalu dibuat lebih lebar dari pada jalan lurus. Hal tersebut bertujuan untuk mengantisipasi adanya penyimpangan lebar alat angkut yang disebabkan oleh sudut yang dibentuk roda depan dengan badan alat angkut saat melintasi tikungan. Lebar jalan pada tikungan harus lebih besar dibandingkan jalan lurus untuk mengakomodasi pergerakan kendaraan saat berbelok pada Gambar 2. (Doirebo, 2018). Lebar jalan minimum pada tikungan untuk lajur ganda didasarkan atas lebar jejak ban, lebar jantai (BCMjolan), jarak antara alat angkut pada saat bersimpangan, dan jarak dari kedua tepi jalan (Saputra, 2023).



Sumber : (Doirebo, 2018)

Gambar 2. Lebar Jalan pada Tikungan

Persamaan yang digunakan untuk menghitung lebar jalan hauling pada jalur tikungan adalah berikut:

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

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

Keterangan:

W_{min} = lebar jalan hauling minimum pada jalan tikungan, meter

U = lebar alat angkut dari pusat ban roda kanan dan kiri, meter

N = Jumlah Jalur

Fa = lebar jantai depan, meter

Fa = $\sin \alpha \times$ jarak as roda depan dengan bagian depan truk

Fb = lebar jantai belakang, meter

Fb = $\sin \alpha \times$ jarak as roda belakang dengan bagian belakang truk

Z = jarak sisi luar truk ke tepi jalan, meter

C = jarak antara dua truk yang akan bersimpangan, meter

Sumber : (Neny dkk., 2023)

2.2.3. Kemiringan/Grade Jalan

Kemiringan adalah tanjakan yang dilewati oleh alat angkut, kecuraman atau kelandaian sangat berpengaruh terhadap produktivitas alat angkut, karena kemiringan jalan menimbulkan tahanan tanjakan yang harus diatasi oleh mesin alat angkut (Riyanto dkk., 2016). Untuk menghitung Grade Jalan, persamaan yang digunakan adalah sebagai berikut:

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

Keterangan:

Δh = Beda tinggi antara dua titik segmen yang diukur (m).

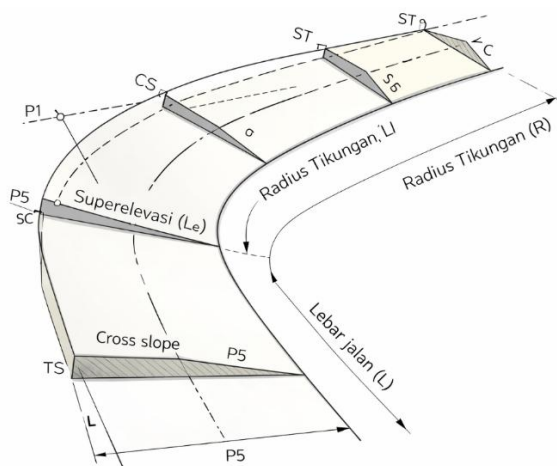
Δx = Jarak datar antara dua titik segmen jalan yang diukur (m).

Sumber : (Neny dkk., 2023)

Kemiringan (grade) jalan tambang/produksi dibuat tidak boleh lebih 12% (dua belas persen) dengan memperhitungkan spesifikasi kemampuan alat angkut, jenis material jalan dan fuel ratio penggunaan bahan bakar (Kepmen ESDM, 2018). Batas rekomendasi grade jalan hauling umumnya $\leq 8-10\%$ untuk menjaga keselamatan dan efisiensi operasional (Chaulya & Prasad, 2016; Handayani & Nugroho, 2020).

2.2.4. Jari-jari dan Superelevasi

Kemampuan alat angkut dump truck untuk melewati tikungan terbatas, maka dalam pembuatan tikungan harus memperhatikan besarnya jari-jari tikungan jalan pada Gambar 3. Radius tikungan minimum ditentukan berdasarkan kecepatan rencana, superelevasi, dan gaya gesek lateral (AASHTO, 1973). Dalam pembuatan jalan menikung, jari-jari tikungan harus dibuat lebih besar dari jari-jari lintasan alat angkut atau minimal sama. Hal lain yang tidak bisa diabaikan dalam pembuatan tikungan adalah superelevasi, yaitu kemiringan melintang jalan pada tikungan (Pratomo dkk., 2016).



Sumber : Doirebo, 2018

Gambar 3. Superelevasi

Persamaan yang digunakan untuk menghitung jari-jari tikungan sebagai berikut:

$$R_{min} = \frac{v^2}{127 (e_{maks} + f_{maks})} \dots\dots\dots(5)$$

Keterangan:

Rmin = jari-jari belokan minimal (m)

Emaks = superelevasi maksimal

Fmaks = koefisien gesekan melintang maksimum

v^2 = kecepatan rencana adalah 40 (km/jam)

Nilai friction factor yang nantinya akan digunakan dalam perhitungan ditentukan berdasarkan kecepatan rencana yaitu:

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

Sumber : (Neny dkk., 2023)

Superelevasi merupakan kemiringan badan jalan (melintang) pada tikungan. Superelevasi berfungsi untuk mengatasi air permukaan yang ada pada tikungan dan juga bertujuan untuk membantu kendaraan mengatasi tikungan sehingga alat angkut tidak tergelincir pada saat melewati tikungan dengan kecepatan maksimum (Achida dkk., 2021). Persamaan yang digunakan untuk menghitung superelevasi sebagai berikut:

$$(e + f) = \frac{v^2}{127 R} \dots\dots\dots(6)$$

Keterangan:

- e = Angka superelevasi
- f = Koefisien gesekan melintang
- v = Kecepatan (km/jam)
- R = Jari-jari tikungan (m)

Sumber : (Neny dkk., 2023)

2.2.5. Cross Slope

Cross slope adalah perbedaan ketinggian sisi jalan dengan bagian tengah permukaan jalan. Besarnya angka cross slope pada jalan hauling dinyatakan dalam perbandingan jarak vertikal dan jarak horizontal (Achida dkk., 2021). Nilai cross slope tidak boleh kurang dari 2% (Kepmen ESDM, 2018). Berdasarkan standar teori AASHTO nilai kemiringan melintang (cross slope) minimum adalah 20 mm (2%) dan nilai cross slope maksimum adalah 40 mm (4%) (Suwandhi, 2004).

2.2.6. Waktu Siklus Pengangkutan (Cycle Time)

Cycle time merupakan parameter utama dalam menentukan produktivitas alat angkut (Peurifoy, 2011). Cycle time alat angkut adalah waktu yang dibutuhkan oleh alat angkut untuk melakukan satu siklus kegiatan produksi dari awal sampai akhir dan siap untuk mulai lagi mengangkut material dari front menuju tempat dumping, di mana terdiri dari waktu antre jika ada, waktu mengambil posisi untuk dimuat, waktu diisi muatan, waktu mengangkut muatan, waktu posisi dumping, waktu dumping, waktu kembali kosong.

$$Cta = Ta_1 + Ta_2 + Ta_3 + Ta_4 + Ta_5 \dots \dots \dots (7)$$

Keterangan:

Cta : Cycle time alat angkut (menit)

Ta₁ : Waktu loading (menit)

Ta₂ : Waktu mengangkut muatan (menit)

Ta₃ : Waktu dumping (menit)

Ta₄ : Waktu Kosongan (menit)

Ta₅ : Waktu spotting atau waktu antre (menit)

2.2.7. Produktivitas Alat Angkut

Produktivitas alat angkut dapat dihitung berdasarkan kapasitas muatan, waktu siklus, serta faktor efisiensi kerja yang mencerminkan kondisi operasional di lapangan. Semakin besar kapasitas alat dan semakin kecil waktu siklus, maka produktivitas yang dihasilkan akan semakin tinggi (Caterpillar Inc., 2019). Efisiensi kerja dipengaruhi oleh waktu efektif dan berbagai hambatan operasional (Prodjosumarto, 1996). efisiensi kerja alat angkut umumnya berada pada kisaran 0,75 hingga 0,85 untuk kondisi operasional yang baik. Namun, pada kondisi tertentu seperti cuaca buruk, jalan licin (*slippery*), serta aktivitas blasting, nilai efisiensi dapat menurun secara signifikan. Efisiensi kerja merupakan perbandingan antara waktu kerja efektif dengan waktu kerja tersedia (Caterpillar Inc., 2019). Secara matematis dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$E = \frac{EWH}{WH} \dots\dots\dots(8)$$

Keterangan:

E = Efisiensi Kerja

EWH = Waktu Kerja Efektif

WH = Waktu Kerja Tersedia

Produktivitas alat angkut merupakan kemampuan alat dalam memindahkan material dalam satuan waktu tertentu yang dipengaruhi oleh kapasitas alat, waktu siklus, dan efisiensi kerja (Caterpillar Inc., 2019). Secara matematis dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$Q = \frac{C \times 60 \times E}{CT} \dots\dots\dots(9)$$

Keterangan:

Q = Produktivitas (BCM/jam)

C = Kapasitas Alat

E = Efisiensi Kerja

CT = Waktu Siklus (menit)

2.2.8. Produktivitas Produksi

Produktivitas produksi merupakan hasil akumulasi dari produktivitas masing-masing unit alat yang beroperasi dalam suatu sistem kerja (Caterpillar Inc., 2019). Oleh karena itu, Produksi total merupakan hasil akumulasi dari produktivitas masing-masing alat yang beroperasi dalam suatu periode waktu tertentu. Produksi total dapat dihitung berdasarkan jumlah alat dan waktu kerja (Peurifoy, 2011). Secara matematis dirumuskan sebagai berikut:

$$Q_{produksi} = Q_{alat} \times N \times T \dots\dots\dots(10)$$

Dimana:

$Q_{produksi}$ = Total Produksi (BCM)

Q_{alat} = Produktivitas Alat Angkut (BCM/jam)

N = Jumlah Alat Angkut

T = Waktu Kerja Efektif (Jam)

2.2.9. Fuel Consumption (Konsumsi Bahan Bakar)

Fuel consumption atau konsumsi bahan bakar merupakan salah satu parameter penting dalam operasional alat angkut di kegiatan pertambangan. Konsumsi bahan bakar menunjukkan jumlah bahan bakar yang digunakan oleh alat dalam satuan waktu tertentu (liter/jam) atau per satuan produksi (liter/BCM). Nilai ini sangat dipengaruhi oleh kondisi teknis alat dan kondisi jalan yang dilalui. Kondisi jalan tambang yang tidak sesuai standar seperti kemiringan yang tinggi, lebar jalan yang sempit, serta permukaan jalan yang tidak rata dapat meningkatkan beban kerja mesin, sehingga konsumsi bahan bakar menjadi lebih besar (Kepmen ESDM, 2018). Hal ini terjadi karena alat angkut membutuhkan tenaga lebih untuk melewati hambatan tersebut. Konsumsi bahan bakar alat angkut dipengaruhi oleh faktor seperti rimpull, kecepatan kendaraan, dan kondisi jalan hauling. Semakin besar tahanan yang dialami alat (rolling resistance dan grade resistance), maka semakin tinggi konsumsi bahan bakar yang dibutuhkan (Nurkhamim dkk., 2023). Konsumsi bahan bakar merupakan jumlah bahan bakar yang digunakan alat dalam suatu periode waktu tertentu. Konsumsi bahan bakar alat berat dapat dianalisis berdasarkan waktu operasi maupun terhadap jumlah produksi yang dihasilkan (Caterpillar Inc., 2019). Secara umum, konsumsi bahan bakar dapat dinyatakan sebagai berikut:

$$\text{Fuel Consumption} = \frac{\text{Jumlah BBM}}{\text{Waktu Operasi}} \dots\dots\dots(11)$$

Selain itu, konsumsi bahan bakar juga dapat dinyatakan dalam bentuk rasio terhadap produksi (fuel ratio), yaitu perbandingan antara jumlah bahan bakar yang digunakan dengan volume produksi:

$$\text{Fuel Ratio} = \frac{\text{Konsumsi BBM}}{\text{Volume Produksi}} \dots\dots\dots(12)$$

Analisis konsumsi bahan bakar penting dilakukan untuk mengetahui tingkat efisiensi penggunaan energi pada alat angkut serta sebagai dasar dalam pengendalian biaya operasional.

2.2.10. Biaya Operasional

Biaya operasional merupakan seluruh biaya yang dikeluarkan dalam kegiatan operasional alat angkut selama proses produksi berlangsung. Biaya ini mencakup biaya bahan bakar, biaya perawatan dan perbaikan, serta biaya tenaga kerja. Biaya operasional alat angkut sangat dipengaruhi oleh efisiensi kerja alat dan kondisi jalan tambang (Rizky dkk., 2020). Secara matematis, biaya bahan bakar dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$\text{Biaya BBM} = \text{Fuel Consumption} \times \text{Harga BBM} \dots\dots\dots(13)$$

Selanjutnya, biaya operasional total dapat dinyatakan dalam bentuk biaya per satuan produksi, yaitu perbandingan antara total biaya dengan total produksi yang dihasilkan:

$$\text{Biaya Operasional per BCM} = \frac{\text{Total Biaya}}{\text{Total Produksi}} \dots\dots\dots(14)$$

Analisis biaya operasional bertujuan untuk mengetahui efisiensi kegiatan pengangkutan serta mengevaluasi dampak perbaikan kondisi jalan terhadap penurunan biaya produksi. Dengan kondisi jalan yang baik, diharapkan terjadi penurunan konsumsi bahan bakar dan waktu siklus, sehingga biaya operasional dapat ditekan. Fuel consumption dan biaya operasional memiliki hubungan yang erat dengan produktivitas alat angkut. Produktivitas yang tinggi umumnya diikuti dengan efisiensi penggunaan bahan bakar dan biaya yang lebih rendah per satuan produksi. Perbaikan geometri jalan tambang dapat meningkatkan kecepatan alat angkut dan menurunkan waktu siklus, yang secara langsung berdampak pada peningkatan produktivitas serta penurunan konsumsi bahan bakar (Putra dkk., 2020). Hal ini menunjukkan bahwa kondisi jalan tambang yang optimal tidak hanya meningkatkan produksi, tetapi juga menekan biaya operasional.

2.3. Kelayakan Jalan Tambang

Kelayakan jalan tambang merupakan suatu kondisi yang menunjukkan bahwa jalan tersebut telah memenuhi standar teknis dan operasional yang diperlukan

dalam kegiatan penambangan. Kelayakan jalan hauling dapat ditinjau dari aspek geometri jalan, daya dukung perkerasan, serta sistem drainase (Jamil dkk., 2021).

Parameter utama dalam evaluasi kelayakan jalan meliputi lebar jalan, kemiringan (grade), cross slope, serta superelevasi (AASHTO, 1973). Parameter tersebut juga diadopsi dalam Kepmen ESDM No. 1827 K/30/MEM/2018 sebagai acuan dalam perencanaan dan evaluasi jalan tambang.

Jalan hauling yang tidak memenuhi standar kelayakan dapat menyebabkan meningkatnya hambatan gerak alat angkut, seperti rolling resistance dan grade resistance, yang berdampak pada penurunan kecepatan alat dan peningkatan waktu siklus (Putra dkk., 2020). Oleh karena itu, evaluasi kelayakan jalan tambang menjadi penting untuk memastikan bahwa jalan tersebut mampu mendukung kegiatan produksi secara optimal.

2.4. Pengaruh Jalan Tambang terhadap Produktivitas Produksi

Produktivitas dalam kegiatan pertambangan sangat dipengaruhi oleh efisiensi sistem transportasi, khususnya pada kegiatan pengangkutan material. Jalan tambang sebagai jalur utama pergerakan alat angkut memiliki pengaruh langsung terhadap produktivitas produksi (Grata dkk., 2021). Kondisi jalan yang tidak optimal, seperti adanya lubang dan permukaan jalan yang tidak rata, dapat meningkatkan rolling resistance sehingga memperlambat pergerakan alat angkut (Andriyani dkk., 2020). Hal ini menyebabkan peningkatan waktu siklus (cycle time) dan penurunan produktivitas alat.

Selain itu, geometri jalan yang tidak sesuai standar, seperti lebar jalan yang sempit dan kemiringan yang terlalu tinggi, dapat mengurangi kecepatan operasi alat angkut serta meningkatkan konsumsi bahan bakar (Putra dkk., 2020). Kondisi ini berdampak pada meningkatnya biaya operasional serta

menurunnya efisiensi produksi. Perbaikan geometri jalan terbukti mampu meningkatkan kecepatan alat angkut, mengurangi waktu siklus, serta meningkatkan volume produksi.

2.5. Fuel Consumption dan Biaya Operasional

Konsumsi bahan bakar (fuel consumption) merupakan salah satu komponen utama dalam biaya operasional alat angkut pada kegiatan pertambangan. Konsumsi bahan bakar menunjukkan jumlah bahan bakar yang digunakan dalam satuan waktu tertentu atau per satuan produksi (Nurkhamim dkk., 2023). Kondisi jalan tambang yang tidak sesuai standar, seperti kemiringan yang tinggi dan permukaan jalan yang tidak rata, dapat meningkatkan beban kerja mesin sehingga konsumsi bahan bakar menjadi lebih besar (Kepmen ESDM, 2018). Hal ini disebabkan oleh meningkatnya tahanan gerak alat angkut, seperti rolling resistance dan grade resistance.

Konsumsi bahan bakar sangat dipengaruhi oleh kondisi jalan, kecepatan alat, serta beban kerja mesin (Nurkhamim dkk., 2023). Semakin besar hambatan yang dialami alat angkut, maka semakin tinggi konsumsi bahan bakar yang dibutuhkan. Selain itu, konsumsi bahan bakar memiliki hubungan yang erat dengan biaya operasional. Peningkatan efisiensi bahan bakar dapat menurunkan biaya operasional per satuan produksi (Putra dkk., 2020). Oleh karena itu, perbaikan kondisi jalan tambang menjadi salah satu upaya penting dalam meningkatkan efisiensi penggunaan bahan bakar serta menekan biaya operasional.

2.6. Benefit Cost Ratio (BCR)

2.6.1. Perhitungan Volume Pekerjaan Redesign

Perhitungan volume pekerjaan redesign dilakukan untuk mengetahui total material yang dikerjakan selama proses pelebaran dan perbaikan geometri jalan hauling. Volume pekerjaan diperoleh berdasarkan

produktivitas excavator dan total waktu kerja alat selama redesign berlangsung. Produktivitas alat gali-muat dapat dihitung berdasarkan kemampuan produksi alat per satuan waktu operasi (Caterpillar Inc., 2019).

Secara matematis dirumuskan sebagai berikut:

$$V = Q \times T \dots\dots\dots(15)$$

Keterangan:

V = volume pekerjaan (BCM)

Q = produktivitas alat (BCM/jam)

T = waktu kerja alat (jam)

2.6.2. Perhitungan Biaya Operasional Alat Redesign

Biaya operasi alat berat dapat dihitung berdasarkan waktu operasi alat dikalikan biaya operasional per jam alat tersebut (Rochmanhadi, 1985). Secara matematis dirumuskan sebagai berikut:

$$BOA = T \times C \dots\dots\dots(16)$$

Keterangan:

BOA = biaya operasional alat (Rp)

T = waktu kerja alat (jam)

C = biaya operasional alat per jam (Rp/jam)

Konsumsi bahan bakar alat berat dipengaruhi oleh jam operasi alat dan beban kerja alat selama kegiatan berlangsung (Caterpillar Inc., 2019). Perhitungan biaya bahan bakar dilakukan menggunakan persamaan berikut:

$$\text{Biaya BBM} = FC \times H \dots\dots\dots(17)$$

Keterangan:

Biaya BBM = biaya fuel/bahan bakar (Rp)

FC = total konsumsi bahan bakar (liter)

H = harga bahan bakar (Rp/liter)

2.6.3. Perhitungan Biaya Tenaga Kerja dan Biaya Konsumsi Operator

Tenaga kerja merupakan salah satu faktor produksi yang memiliki kontribusi terhadap kegiatan operasional perusahaan sehingga biaya tenaga kerja perlu diperhitungkan dalam analisis biaya operasional. Perhitungan upah per jam operator dilakukan berdasarkan konversi jam kerja bulanan menjadi jam kerja per jam dengan asumsi 173 jam kerja per bulan sesuai ketentuan waktu kerja pada peraturan ketenagakerjaan di Indonesia (Hasibuan, 2017; Republik Indonesia, 2021). Rumus yang digunakan adalah:

$$U_j = \frac{U_b}{173} \dots\dots\dots(18)$$

Keterangan :

U_j = upah per jam (Rp/jam)

U_b = upah bulanan pekerja (Rp/bulan)

Sumber : (Republik Indonesia, 2021)

Biaya tenaga kerja proyek dapat dihitung berdasarkan jumlah tenaga kerja, waktu kerja, dan besarnya upah pekerja selama pelaksanaan proyek berlangsung (Soeharto, 1995). Perhitungan biaya tenaga kerja operator dilakukan menggunakan persamaan berikut:

$$BTK = U_j \times J_k \times N \times S \dots\dots\dots(19)$$

Keterangan :

BTK = Biaya Tenaga Kerja Operator (Rp)

U_j = Upah Per Jam (Rp/jam)

J_k = Jam Kerja Per Shift (Jam)

N = Jumlah Operator

S = Jumlah Shift

Biaya konsumsi pekerja merupakan biaya tambahan yang dikeluarkan perusahaan selama pekerjaan redesign berlangsung. Perhitungan dilakukan berdasarkan jumlah pekerja, jumlah shift, dan biaya konsumsi per pekerja.

2.6.4. Metode Benefit Cost Ratio

Metode Benefit Cost Ratio merupakan salah satu metode analisis kelayakan ekonomi yang digunakan untuk membandingkan nilai manfaat terhadap biaya suatu proyek atau kegiatan. Metode Benefit Cost Ratio digunakan dalam evaluasi proyek untuk menilai apakah suatu investasi atau kegiatan layak dilaksanakan secara ekonomi (Gray dkk., 2007).

Suatu proyek dinyatakan layak apabila nilai Benefit Cost Ratio lebih besar dari satu ($BCR > 1$), yang menunjukkan bahwa manfaat yang diperoleh lebih besar dibandingkan biaya yang dikeluarkan. Sebaliknya, apabila nilai BCR kurang dari satu ($BCR < 1$), maka proyek dinilai tidak layak karena biaya yang dikeluarkan lebih besar dibandingkan manfaat yang diperoleh (Giatman, M., 2011). Sehingga BCR dapat diperoleh dari rumus berikut:

$$BCR = \frac{Benefit}{Cost} \dots\dots\dots(20)$$

Keterangan:

BCR = Benefit Cost Ratio

Benefit = manfaat atau keuntungan yang diperoleh (Rp)

Cost = biaya yang dikeluarkan (Rp)

2.7. Penelitian Terdahulu

Tabel 1. Penelitian Terdahulu

No	Peneliti / Sumber / Tahun	Judul	Tujuan	Metode	Hasil
1	Jurnal Teknologi Pertambangan / Evelyn Simaremare dkk. / 2024	Kajian Teknis Geometri Jalan Angkut Tambang Untuk Meningkatkan Produktivitas Overburden Removal Pada Penambangan Batubara Pit 14 PT Darma Henwa Site Asam-Asam, Kalimantan Selatan	Mengetahui kondisi aktual geometri jalan angkut dan meningkatkan produktivitas overburden removal melalui perbaikan geometri jalan hauling	Pengumpulan data primer (pengukuran langsung geometri jalan) dan sekunder, analisis kesesuaian geometri terhadap standar, perhitungan cycle time dan produktivitas alat angkut	Perbaikan geometri jalan meningkatkan produktivitas dari $\pm 102-107$ BCM/jam menjadi $117-126$ BCM/jam, yang menunjukkan peningkatan kinerja alat angkut akibat berkurangnya hambatan operasional dan meningkatnya kecepatan
2	Jurnal Evaluasi Geometri Jalan Tambang / Kresno dkk. / 2022	Evaluasi Geometri Jalan Tambang Pada Pengangkutan Overburden Dari Front A2 Menuju Disposasi Untuk Meningkatkan Produktivitas Dari PT. Riung Mitra Lestari Site Krassi PT. Mandiri Intiperkasa, Kalimantan Utara	Mengevaluasi kondisi geometri jalan hauling dan meningkatkan produktivitas pengangkutan overburden melalui perbaikan parameter jalan	Pengumpulan data lapangan, analisis geometri jalan (lebar, grade, tikungan), perhitungan cycle time dan produktivitas	Ketidaksesuaian geometri jalan menyebabkan tingginya cycle time, setelah perbaikan terjadi penurunan waktu siklus dan peningkatan produktivitas alat angkut
3	Indonesian Mining Professionals Journal / Nurkhamim dkk. / 2023	Analisis Konsumsi Bahan Bakar Alat Angkut UD Quester Cwe 370 Dalam Kegiatan Pengangkutan Bijih Nikel	Menganalisis tingkat konsumsi bahan bakar alat angkut dan faktor yang mempengaruhinya dalam kegiatan hauling	Pengumpulan data operasional alat, analisis fuel consumption rate (L/jam dan L/ton), evaluasi efisiensi kerja alat	Konsumsi bahan bakar dipengaruhi kondisi jalan dan efisiensi kerja, perbaikan kondisi operasi menurunkan fuel consumption dan meningkatkan efisiensi biaya operasional
4	Journal Of Mining Insight / Nawir dkk. / 2025	Studi Desain Jalan Tambang PT Pancaran Surya Abadi Kabupaten Kutai Kartanegara	Menentukan desain geometri jalan tambang yang sesuai standar untuk mendukung kelancaran operasional	Analisis desain geometri jalan berdasarkan standar teknis, evaluasi kondisi aktual	Perbaikan desain geometri jalan meningkatkan kelancaran lalu lintas alat angkut, mengurangi hambatan, dan meningkatkan efisiensi operasional
5	INTAN / Etwiory dkk. / 201	Evaluasi Geometri Jalan Angkut Tambang Dan	Mengevaluasi geometri jalan angkut dan sistem	Analisis geometri jalan dan sistem drainase,	Perbaikan geometri dan drainase meningkatkan stabilitas jalan,

Tabel Lanjutan...

		Rancangan Drainase Pada PT. Sumber Anugerah Buana Kabupaten Sorong Provinsi Papua Barat	drainase untuk meningkatkan kondisi jalan tambang	evaluasi kesesuaian terhadap standar	mengurangi kerusakan jalan, dan meningkatkan efisiensi operasional alat angkut
6	Jurnal Teknik Patra Akademika / Sepriadi dkk. / 2017	Evaluasi Geometri Jalan Angkut Terhadap Produktifitas Overburden Di Pit Mt 4 Penambangan Air Laya Pt Bukit Asam (Persero), Tbk. Tanjung Enim Propinsi Sumatera Selatan	Mengetahui pengaruh geometri jalan terhadap produktivitas pengangkutan overburden	Pengumpulan data lapangan, analisis geometri jalan, perhitungan cycle time dan produktivitas	Geometri jalan yang tidak sesuai standar menyebabkan rendahnya produktivitas, perbaikan geometri menurunkan cycle time dan meningkatkan produktivitas
7	Jurnal Riset Teknik Pertambangan (JRTP) / Nurullah dkk. / 2024	Pengaruh Geometri Jalan terhadap Produktivitas Batubara di Pit 2 Banko	Menganalisis pengaruh parameter geometri jalan terhadap produktivitas pengangkutan batubara	Analisis geometri jalan (lebar, grade, tikungan), perhitungan produktivitas alat angkut	Geometri jalan yang sesuai standar meningkatkan kecepatan alat, menurunkan waktu siklus, dan meningkatkan produktivitas
8	Publikasi Ilmu Teknik, Perencanaan Tata Ruang dan Teknik Sipil / Wally dkk. / 2025	Penentuan Geometri Jalan Akses Berdasarkan AASHTO dan KepMen 1827 di Pit A4 Benaung PT.Energi Cahaya Industritama	Menentukan geometri jalan hauling berdasarkan standar AASHTO dan KepMen ESDM untuk meningkatkan kinerja alat	Evaluasi kondisi jalan, redesign geometri jalan, analisis produktivitas dan cycle time	Produktivitas meningkat dari 80,109 menjadi 92,42 BCM/jam ($\pm 15,4\%$) dan cycle time turun dari 16,34 menit menjadi 10,33 menit akibat peningkatan kecepatan dan kelancaran alat
9	Mineral Journal / Silalahi dkk. / 2018	Kajian Teknis Geometri Jalan Tambang Front 242 Untuk Pencapaian Produktivitas Alat Angkut Di PT Semen Padang (Persero) Tbk	Menganalisis pengaruh geometri jalan terhadap kinerja alat angkut di area tambang	Evaluasi kondisi jalan, analisis kecepatan alat, perhitungan cycle time dan produktivitas	Perbaikan geometri jalan meningkatkan kecepatan alat angkut, menurunkan cycle time, dan meningkatkan produksi secara signifikan
10	Jurnal Riset Teknik Pertambangan (JRTP) / Wita dkk. / 2024	Kajian Desain Jalan Tambang Pengangkutan Batubara dari Pit Menuju Stockpile	Mengevaluasi desain jalan hauling dari pit ke stockpile untuk meningkatkan efisiensi pengangkutan	Analisis geometri jalan, evaluasi kondisi operasional, perhitungan kinerja alat angkut	Perbaikan desain jalan meningkatkan kecepatan, menurunkan hambatan operasional, meningkatkan produktivitas, serta meningkatkan keselamatan kerja

Berdasarkan hasil kajian terhadap 10 penelitian terdahulu, dapat diketahui bahwa terdapat hubungan yang kuat dan konsisten antara desain geometri jalan hauling dengan peningkatan kinerja operasional alat angkut, yang ditinjau dari produktivitas, waktu siklus (cycle time), serta efisiensi bahan bakar.

Secara umum, kondisi jalan hauling yang tidak memenuhi standar teknis baik dari segi lebar jalan, kemiringan (grade), tikungan, maupun drainase menyebabkan hambatan operasional berupa penurunan kecepatan alat angkut, peningkatan waktu tempuh, serta tingginya cycle time. Hal ini berdampak langsung terhadap rendahnya produktivitas alat angkut, sebagaimana ditunjukkan dalam penelitian oleh (Sepriadi dkk., 2017), (Kresno dkk., 2022), serta (Nurullah dkk., 2024).

Sebaliknya, setelah dilakukan evaluasi dan perbaikan geometri jalan hauling, hampir seluruh penelitian menunjukkan tren peningkatan kinerja operasional yang signifikan. Sebagai contoh, penelitian oleh (Simaremare dkk., 2024) menunjukkan bahwa perbaikan geometri jalan mampu meningkatkan produktivitas dari ± 102 – 107 BCM/jam menjadi 117 – 126 BCM/jam atau mengalami peningkatan sekitar 10 – 15% . Hal serupa juga ditunjukkan oleh (Wally dkk., 2025), di mana produktivitas meningkat dari $80,109$ BCM/jam menjadi $92,42$ BCM/jam ($\pm 15,4\%$), disertai dengan penurunan cycle time dari $16,34$ menit menjadi $10,33$ menit atau lebih cepat sekitar $36,8\%$.

Selain itu, penelitian oleh (Silalahi dkk., 2018) dan (Nawir dkk., 2025) menunjukkan bahwa perbaikan desain jalan juga berdampak pada peningkatan kecepatan alat angkut secara signifikan, yang secara langsung berkontribusi terhadap penurunan waktu siklus dan peningkatan kapasitas produksi. Sementara itu, penelitian oleh (Etwiory dkk., 2019) menambahkan bahwa aspek drainase jalan turut berperan dalam menjaga

stabilitas kondisi jalan, sehingga dapat mengurangi kerusakan jalan yang berpotensi menghambat operasional.

Dari sisi efisiensi energi, penelitian oleh (Nurkhamim dkk., 2023) menunjukkan bahwa kondisi jalan hauling yang baik tidak hanya meningkatkan produktivitas, tetapi juga mampu menurunkan konsumsi bahan bakar (fuel consumption rate), sehingga berdampak pada efisiensi biaya operasional. Hal ini menunjukkan bahwa perbaikan geometri jalan memiliki efek multidimensi, tidak hanya pada produktivitas tetapi juga pada efisiensi energi dan biaya.

Dengan demikian, dapat disimpulkan bahwa terdapat korelasi yang kuat antara kualitas desain geometri jalan hauling dengan peningkatan produktivitas alat angkut, penurunan cycle time, peningkatan kecepatan operasional, serta penurunan konsumsi bahan bakar. Secara kuantitatif, perbaikan geometri jalan terbukti mampu meningkatkan produktivitas hingga lebih dari 10–15% serta menurunkan waktu siklus secara signifikan, tergantung pada tingkat perbaikan yang dilakukan. Hal ini menegaskan bahwa optimasi geometri jalan hauling merupakan salah satu faktor kunci dalam meningkatkan efisiensi dan kinerja operasional pada kegiatan penambangan terbuka.

BAB III

METODE PENELITIAN

3.1. Metode Penelitian

Metode penelitian yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode deskriptif kuantitatif. Metode deskriptif digunakan untuk menggambarkan kondisi aktual di lapangan secara sistematis, faktual, dan akurat, khususnya terkait kondisi geometri jalan hauling pada kegiatan pengangkutan overburden. Sementara itu, pendekatan kuantitatif digunakan untuk menganalisis data numerik yang diperoleh dari hasil pengukuran dan perhitungan, seperti dimensi geometri jalan, waktu siklus (cycle time), produktivitas alat angkut, serta konsumsi bahan bakar (fuel consumption).

Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi kesesuaian kondisi geometri jalan hauling terhadap standar teknis yang berlaku serta menganalisis pengaruhnya terhadap kinerja operasional alat angkut. Dengan demikian, metode yang digunakan tidak hanya menggambarkan kondisi eksisting, tetapi juga memberikan analisis kuantitatif terhadap parameter-parameter yang mempengaruhi produktivitas dan efisiensi operasional. Pendekatan penelitian dilakukan melalui tahapan yang sistematis, dimulai dari persiapan, pengumpulan data, pengolahan data, analisis data, hingga penarikan kesimpulan. Setiap tahapan dirancang untuk saling mendukung dalam menjawab tujuan penelitian secara komprehensif.

3.2. Tahapan Penelitian

Tahapan penelitian dalam studi ini disusun secara sistematis berdasarkan diagram alir penelitian yang telah dirancang. Tahapan tersebut terdiri dari beberapa bagian

utama yang saling berkaitan, yaitu persiapan penelitian, pengumpulan data, pengolahan data, analisis data, hingga tahap akhir berupa hasil dan kesimpulan. Setiap tahapan memiliki peran penting dalam memastikan penelitian berjalan secara terstruktur dan menghasilkan data yang valid serta dapat dipertanggungjawabkan secara ilmiah.

3.2.1. Persiapan Penelitian

Tahap persiapan penelitian merupakan tahap awal yang sangat penting dalam menentukan keberhasilan penelitian secara keseluruhan. Pada tahap ini dilakukan berbagai kegiatan yang bertujuan untuk merancang dan mempersiapkan seluruh kebutuhan penelitian sebelum dilakukan pengambilan data di lapangan.

Kegiatan yang dilakukan pada tahap ini meliputi penentuan lokasi dan waktu penelitian, yaitu pada jalan hauling overburden (OB) di area operasional PT PBT. Penelitian dilaksanakan selama 1 bulan, dimulai pada 1 Februari 2026 hingga 28 Februari 2026. Pemilihan lokasi penelitian didasarkan pada pertimbangan bahwa jalur hauling tersebut memiliki peran penting dalam kegiatan pengangkutan material overburden, sehingga kondisi geometrinya sangat berpengaruh terhadap produktivitas alat angkut. Selain itu, kegiatan operasional pengangkutan material pada jalur tersebut berlangsung dalam periode yang terbatas selama 3 bulan yaitu dari bulan Februari hingga April 2026, sehingga penelitian dilakukan pada saat aktivitas pengangkutan masih berjalan aktif agar data yang diperoleh dapat merepresentasikan kondisi operasional di lapangan.

Selanjutnya dilakukan penyusunan rancangan penelitian yang mencakup penentuan tujuan penelitian, ruang lingkup penelitian, serta metode yang akan digunakan dalam proses pengumpulan dan analisis data. Rancangan penelitian ini berfungsi sebagai pedoman dalam pelaksanaan penelitian agar tetap sesuai dengan tujuan yang telah ditetapkan.

Selain itu, dilakukan pula persiapan alat dan instrumen penelitian yang akan digunakan dalam pengukuran di lapangan. Alat yang digunakan antara lain meteran untuk mengukur lebar jalan, Total Station (TS) untuk mengukur kemiringan (grade), serta perangkat pendukung lainnya seperti GPS dan alat pencatatan data. Persiapan ini bertujuan untuk memastikan bahwa seluruh data yang diperlukan dapat diperoleh secara akurat.

Tahap persiapan ini juga mencakup penentuan titik atau segmen jalan yang akan menjadi objek penelitian. Pembagian segmen ini dilakukan untuk mempermudah proses pengambilan data serta analisis yang lebih detail terhadap kondisi jalan pada setiap bagian.

3.2.2. Pengumpulan Data

Tahap pengumpulan data merupakan tahap inti dalam penelitian, di mana seluruh data yang dibutuhkan dikumpulkan secara sistematis untuk mendukung proses analisis. Data yang dikumpulkan dalam penelitian ini terdiri dari data primer dan data sekunder.

a. Data Primer

Data primer merupakan data yang diperoleh secara langsung dari lapangan melalui kegiatan observasi dan pengukuran. Pengambilan data primer dilakukan dengan cara mengamati kondisi jalan hauling secara langsung serta melakukan pengukuran terhadap parameter geometri jalan. Parameter geometri jalan yang diukur meliputi lebar jalan, kemiringan jalan (grade), kemiringan melintang (cross slope), superelevasi, serta jari-jari tikungan. Pengukuran ini bertujuan untuk mengetahui kondisi aktual jalan hauling dan membandingkannya dengan standar teknis yang berlaku.

Selain itu, dilakukan juga pengambilan data terkait kinerja alat angkut, yang meliputi waktu siklus (cycle time), kecepatan alat angkut, efisiensi kerja (*Effective Working Hours/EWH*), serta konsumsi bahan

bakar (*fuel consumption*). Data ini diperoleh melalui pengamatan langsung terhadap aktivitas alat angkut di lapangan serta pencatatan data operasional. Pengumpulan data primer dilakukan secara teliti dan berulang pada beberapa segmen jalan untuk memperoleh data yang representatif dan dapat menggambarkan kondisi sebenarnya di lapangan.

b. Data Sekunder

Data sekunder merupakan data pendukung yang diperoleh dari pihak perusahaan serta sumber literatur yang relevan. Data dari perusahaan meliputi data produksi, spesifikasi alat angkut, serta informasi operasional lainnya yang mendukung penelitian.

Selain itu, data sekunder juga diperoleh dari literatur berupa buku, jurnal, dan penelitian terdahulu yang berkaitan dengan geometri jalan tambang, produktivitas alat angkut, serta konsumsi bahan bakar. Data ini digunakan sebagai dasar teori serta pembandingan dalam proses analisis.

3.2.3. Pengolahan Data

Setelah seluruh data terkumpul, tahap selanjutnya adalah pengolahan data. Tahap ini bertujuan untuk mengubah data mentah yang diperoleh dari lapangan menjadi data yang siap dianalisis.

Pengolahan data dimulai dengan pembagian segmen jalan hauling, yaitu dari front menuju disposal. Pembagian ini dilakukan untuk mempermudah analisis kondisi jalan pada setiap segmen secara lebih rinci.

Selanjutnya dilakukan pengolahan data hasil survei lapangan, termasuk pengecekan kelengkapan data serta penyusunan data dalam bentuk tabel atau grafik. Setelah itu dilakukan perhitungan parameter geometri jalan

berdasarkan data yang telah diperoleh, seperti perhitungan lebar jalan, kemiringan, dan parameter lainnya.

Selain itu, dilakukan juga perhitungan produktivitas alat angkut berdasarkan data cycle time, kapasitas alat, dan efisiensi kerja. Perhitungan ini bertujuan untuk mengetahui tingkat kinerja alat angkut pada kondisi jalan yang ada.

3.2.4. Analisis Data

Tahap analisis data dilakukan untuk menginterpretasikan hasil pengolahan data dan menjawab tujuan penelitian. Analisis dilakukan secara deskriptif dan kuantitatif.

Analisis deskriptif dilakukan untuk menggambarkan kondisi eksisting jalan hauling berdasarkan hasil pengukuran di lapangan. Selanjutnya dilakukan analisis kelayakan geometri jalan dengan membandingkan kondisi aktual terhadap standar teknis yang berlaku.

Selain itu, dilakukan analisis produktivitas alat angkut yang meliputi analisis waktu siklus (cycle time), volume produksi, biaya operasional, serta konsumsi bahan bakar. Analisis ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh kondisi jalan terhadap kinerja alat angkut secara menyeluruh.

3.2.5. Hasil dan Pembahasan

Pada tahap ini dilakukan pembahasan terhadap hasil analisis yang telah diperoleh. Pembahasan difokuskan pada evaluasi kondisi geometri jalan hauling serta dampaknya terhadap produktivitas alat angkut dan konsumsi bahan bakar.

Hasil analisis dibandingkan dengan teori dan penelitian terdahulu untuk memperkuat hasil penelitian. Selain itu, dibahas pula faktor-faktor yang

mempengaruhi kinerja alat angkut serta rekomendasi perbaikan yang dapat dilakukan.

3.2.6. Kesimpulan

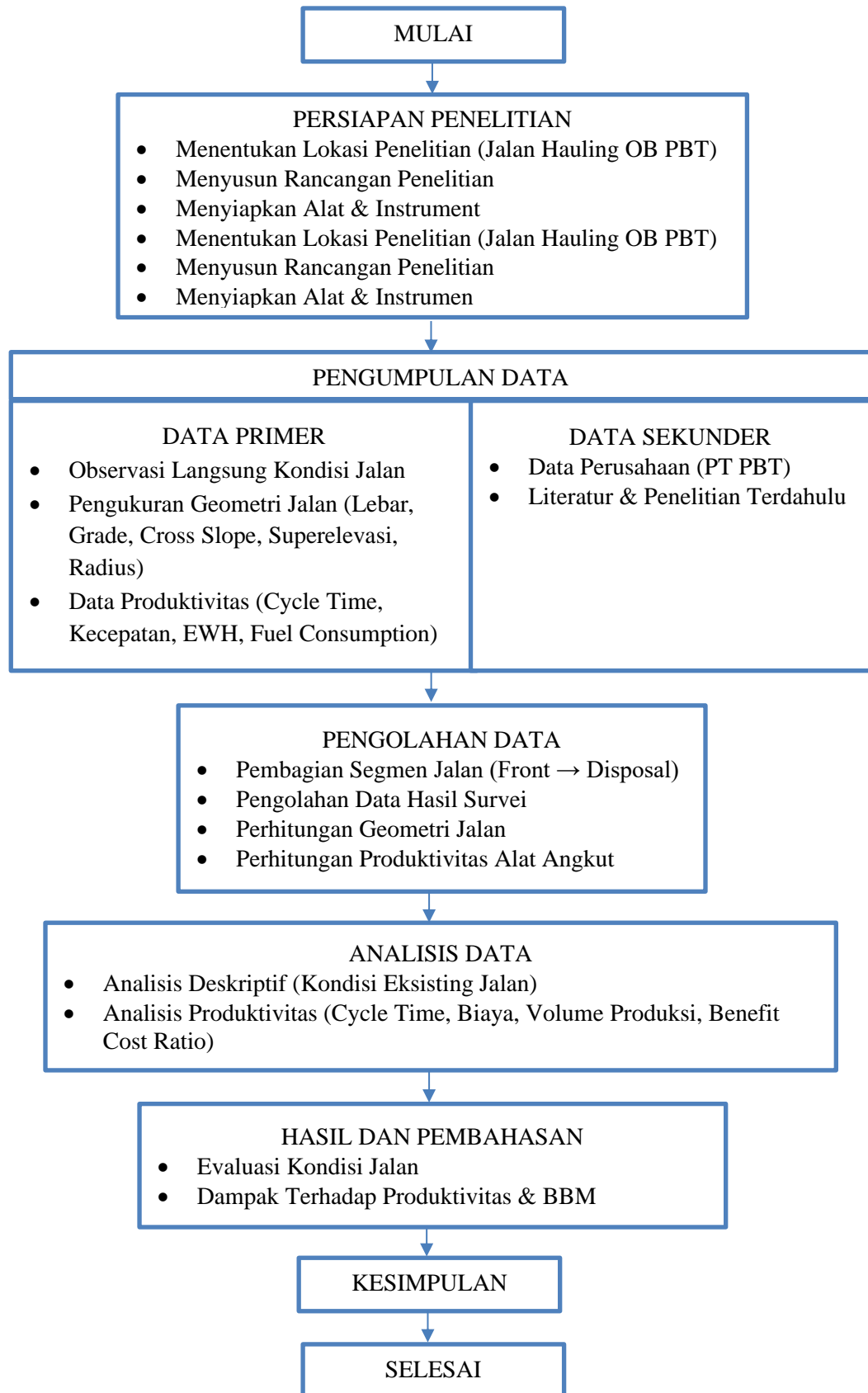
Tahap akhir penelitian adalah penarikan kesimpulan berdasarkan hasil analisis yang telah dilakukan. Kesimpulan disusun secara sistematis dan mencakup jawaban terhadap tujuan penelitian, yaitu tingkat kesesuaian geometri jalan serta pengaruhnya terhadap produktivitas alat angkut. Selain itu, diberikan pula saran atau rekomendasi yang dapat digunakan sebagai acuan dalam perbaikan kondisi jalan hauling di masa mendatang.

3.3. Prosedur Penelitian

Prosedur penelitian yang dilakukan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. **Persiapan:** Menyusun rancangan penelitian, memilih lokasi penelitian, serta menyiapkan instrumen pengumpulan data.
2. **Pengumpulan Data:** Melakukan observasi dan pengumpulan data produktivitas produksi untuk memperoleh data primer dan sekunder.
3. **Analisis Data:** Menganalisis data yang telah dikumpulkan menggunakan teknik analisis deskriptif, analisis kelayakan tambang, serta analisis korelasi dan regresi sederhana untuk mengevaluasi desain kelayakan jalan tambang dan pengaruhnya terhadap produktivitas.
4. **Penyusunan Laporan:** Menyusun hasil analisis dalam bentuk laporan tesis, yang mencakup temuan, kesimpulan, dan rekomendasi untuk perbaikan desain jalan tambang.

3.4. Bagan Alir Penelitian



Gambar 4. Bagan Alir Penelitian

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1. Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian dapat disimpulkan sebagai berikut:

1. Berdasarkan hasil evaluasi terhadap parameter geometri jalan hauling OB PT PBT, diketahui bahwa sebagian besar parameter belum memenuhi standar teknis. Lebar jalan lurus aktual berkisar antara 17,8–19,1 m, lebih kecil dari standar 22,75 m, sedangkan lebar jalan tikungan sebesar 17,1 m masih di bawah standar 23 m. Nilai grade jalan mencapai 9%, yang melebihi batas ideal operasional sebesar 8%, sementara nilai superelevasi sebesar 4,7% masih memenuhi standar ($\leq 5\%$). Ketidaksesuaian ini menyebabkan meningkatnya hambatan gerak alat angkut, sehingga berdampak pada rendahnya kecepatan dan meningkatnya waktu siklus (cycle time).
2. Perbaikan geometri jalan melalui redesign terbukti meningkatkan kinerja alat angkut dan produktivitas produksi. Produktivitas alat angkut meningkat dari 108,34 BCM/jam menjadi 130,69 BCM/jam atau sebesar 20,63%. Peningkatan ini berdampak pada produktivitas produksi harian, yaitu dari 5.349,83 BCM/hari menjadi 6.453,38 BCM/hari, atau meningkat sebesar 1.103,55 BCM/hari. Secara bulanan, produksi meningkat dari 149.795,1 BCM/bulan menjadi 180.694,60 BCM/bulan. Peningkatan ini dipengaruhi oleh penurunan cycle time dari 13,45 menit menjadi 11,15 menit akibat perbaikan lebar jalan dan pengendalian nilai grade menjadi lebih optimal.
3. Konsumsi bahan bakar memiliki pengaruh langsung terhadap biaya operasional dan efisiensi sistem pengangkutan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa konsumsi bahan bakar menurun dari 441,88 liter/jam menjadi 396,74 liter/jam atau sebesar 10,21%. Penurunan ini berdampak pada penghematan biaya operasional bahan bakar sebesar Rp 631.960/jam, atau setara dengan

Rp 15.167.040/hari dan Rp 424.677.120/bulan. Hal ini menunjukkan bahwa kondisi jalan yang lebih baik mampu mengurangi beban kerja mesin, meningkatkan efisiensi bahan bakar, serta menekan biaya operasional relative besar.

5.2. Saran

Berikut saran yang dapat diberikan untuk mendukung peningkatan efisiensi operasional dan pengembangan penelitian selanjutnya adalah sebagai berikut:

1. Perlu dilakukan pemeliharaan dan evaluasi secara rutin terhadap kondisi jalan hauling agar parameter geometrik jalan tetap sesuai dengan standar teknis yang berlaku sehingga dapat mendukung kelancaran operasional alat angkut serta menjaga produktivitas pengangkutan material.
2. Pengendalian kemiringan jalan (grade) sebaiknya dipertahankan tidak melebihi 6% karena kondisi grade yang sesuai dapat membantu meningkatkan efisiensi operasional alat angkut, mempercepat waktu tempuh, serta menurunkan konsumsi bahan bakar selama kegiatan hauling berlangsung.
3. Monitoring konsumsi bahan bakar alat angkut perlu dilakukan secara berkala sebagai salah satu indikator evaluasi efisiensi operasional dan kinerja alat, sehingga perusahaan dapat mengetahui pengaruh kondisi jalan terhadap penggunaan bahan bakar dan biaya operasional pengangkutan.
4. Penelitian selanjutnya disarankan untuk menambahkan analisis faktor lain yang mempengaruhi produktivitas kegiatan hauling, seperti manajemen lalu lintas alat angkut, kondisi cuaca, cycle time operasional, kondisi permukaan jalan, serta faktor keterampilan operator agar diperoleh hasil kajian yang lebih komprehensif.

DAFTAR PUSTAKA

- Achida, A., Hamid, A., & Yusuf, R. (2021). Evaluasi dan redesign geometri jalan hauling tambang dari Pit Alaska menuju stockpile pada PT Bumu Nikel Nusantara Kabupaten Konawe Utara. *Jurnal Geomine*, 1(2).
- American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO). (1973). *Manual rural highway design*. AASHTO.
- Andriyani, R., Ramdani, F., & Yulianingsih, T. (2020). Pengaruh kondisi jalan terhadap produktivitas alat angkut pada kegiatan penambangan. *Jurnal Rekayasa Tambang*, 6(1), 45–52. <https://journals.unisba.ac.id/index.php/JRTP/article/view/3897>
- Anwar, H., Jafar, N., Thamsi, A. B., & Farid, M. I. (2021). Evaluasi geometri jalan hauling tambang pada PT Manankarra Multi Mining Provinsi Sulawesi Barat. *Jurnal Geomine*, 9(1).
- Caterpillar Inc. (2019). *Caterpillar performance handbook*. Caterpillar Inc.
- Chaulya, S. K., & Prasad, G. M. (2016). Evaluation of haul road design and management systems in open cast mines. *International Journal of Mining Science and Technology*, 26(6), 1003–1010. <https://doi.org/10.1016/j.ijmst.2016.09.001>
- Doirebo, H. Y. E. (2018). Evaluasi geometri jalan angkut tambang pada PT Adikarya Tanrisau Kampung Dosay Distrik Sentani Barat Kabupaten Jayapura Provinsi Papua. *Jurnal Portal Sipil*, 7(2), 1–8.
- Etwiory, P. J., & Triyanto, B. (2018). Evaluasi geometri jalan angkut tambang dan rancangan drainase pada PT Sumber Anugerah Buana Kabupaten Sorong Provinsi Papua Barat. *INTAN Jurnal Penelitian Tambang*, 1(8).
- Jamil, E. A., Wijaksana, I. K., & Zaenal. (2021). Kajian geometri dan daya dukung perkerasan jalan pada pengangkutan batubara. *Jurnal Riset Teknik Pertambangan*, 4(1), 1–8.
- Giatman, M. (2011). *Ekonomi teknik*. Raja Grafindo Persada.

- Grata, R., Hartami, P. N., & Suliestyah. (2021). Kajian teknis pengaruh grade jalan hauling terhadap produktivitas alat angkut di PT Tarabatuh Manunggal, Kabupaten Bogor, Jawa Barat. *Indonesian Mining and Energy Journal (IMEJ)*, 6(2), 71–78.
- Gray, C., Simanjuntak, P., Sabur, L. K., Maspaitella, P. F. L., & Varley, R. C. G. (2007). *Pengantar evaluasi proyek*. Gramedia Pustaka Utama.
- Handayani, D., & Nugroho, C. (2020). Evaluasi parameter geometri jalan hauling dan pengaruhnya terhadap produktivitas alat angkut di tambang batubara terbuka. *Jurnal Pertambangan*, 4(2), 55–63. <https://doi.org/10.25077/jp.4.2.55-63.2020>
- Hasibuan, M. S. P. (2017). *Manajemen sumber daya manusia*. Bumi Aksara.
- Isti, Y. K., Saputra, D., & Ramadhan, A. (2024). Desain dan penjadwalan produksi pit tambang batubara CV Niska, Dusun Senamat, Kecamatan Pelepat, Kabupaten Bungo, Provinsi Jambi. *Jurnal Bina Tambang*, 8(2).
- Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral Republik Indonesia. (2018). Keputusan Menteri ESDM Nomor 1827 K/30/MEM/2018 tentang Pedoman Pelaksanaan Kaidah Teknik Pertambangan yang Baik. Kementerian ESDM.
- Kresno, A., Aflah, H. F., Cahyadi, T. A., & Syafrianto, K. (2022). Evaluasi geometri jalan tambang pada pengangkutan overburden dari Front A2 menuju disposal untuk meningkatkan produktivitas PT Riung Mitra Lestari Site Krassi PT Mandiri Intiperkasa, Kalimantan Utara. *Jurnal Teknologi Pertambangan*, 8(24).
- Nainggolan, R. P., Marpaung, N. D., & Debataraja, S. M. T. (2023). Analisa geometri jalan terhadap produktivitas alat angkut dalam kegiatan pengangkutan material timbunan di PT Sumatera Pembangkit Mandiri Kecamatan Pahae Julu Kabupaten Tapanuli Utara Provinsi Sumatera Utara. *Jurnal Sains dan Teknologi ISTP*, 20(1).
- Nawir, A., Bahri, A., & Misbahar. (2025). Studi desain jalan tambang PT Pancaran Surya Abadi Kabupaten Kutai Kartanegara. *Journal of Mining Insight*, 3(4).
- Neny, V., Saputra, A., & Wijaya, R. (2023). Evaluasi geometri jalan angkut tambang berdasarkan standar AASHTO pada penambangan batu granit PT

- Hansindo Mineral Persada Kabupaten Mempawah Provinsi Kalimantan Barat. *JeLAST*, 10(3).
- Nurkhamim, N., Suryadi, A., & Fadli, M. (2023). Analisis konsumsi bahan bakar alat angkut UD Quester CWE 370 dalam kegiatan pengangkutan bijih nikel. *Indonesian Mining Professionals Journal*, 5(2), 45–53.
- Nurullah, S. S. H., Guntoro, D., & Wijaksana, I. K. (2024). Pengaruh geometri jalan terhadap produktivitas batubara di Pit 2 Banko. *Jurnal Riset Teknik Pertambangan (JRTP)*.
- Peurifoy, R. L., Schexnayder, C. J., Schmitt, R. L., & Shapira, A. (2011). *Construction planning, equipment, and methods*. McGraw-Hill.
- Pratomo, R., Firmansyah, A., & Setiawan, D. (2016). Evaluasi jalan hauling dari front tambang andesit ke Crusher II pada penambangan batu andesit di PT Gunung Kecapi Kabupaten Purwakarta Provinsi Jawa Barat. *Jurnal Teknik Pertambangan*, 2(2).
- Prodjosumarto, P. (1996). *Pemindahan tanah mekanis*. Institut Teknologi Bandung.
- Putra, A., Hidayat, T., & Kurniawan, R. (2020). Kajian teknis geometri jalan tambang untuk pencapaian produktivitas alat angkut. *Jurnal Teknologi Pertambangan*, 10(1), 40–48.
- Republik Indonesia. (2021). *Peraturan Pemerintah Nomor 35 Tahun 2021 tentang Perjanjian Kerja Waktu Tertentu, Alih Daya, Waktu Kerja dan Waktu Istirahat, serta Pemutusan Hubungan Kerja*. Sekretariat Negara Republik Indonesia.
- Rizky, A. (2020). Analisis kelayakan jalan tambang terhadap efisiensi operasional alat angkut. *Jurnal Teknik Pertambangan*, 8(2), 25–33.
- Rizky, A. (2020). Analisis fuel consumption rate pada DT Iveco AD380T38 produksi batubara PT Adimitra Baratama Nusantara Sanga Sanga Kaltim [Skripsi, Universitas Trisakti].
- Riyanto, D., Saputra, M., & Hidayat, F. (2016). Evaluasi jalan tambang berdasarkan geometri dan daya dukung pada lapisan tanah dasar Pit Tutupan Area High Wall. *Jurnal HIMASAPTA*, 1(2).
- Rochmanhadi. (1985). *Alat-alat berat dan penggunaannya*. Departemen Pekerjaan Umum.

- Saputra, A. M. (2023). Analisis geometri jalan tambang dari Front Timur sampai ke Disposal Selatan area untuk pengangkutan overburden pada PT Lematang Coal Lestari, Gunung Raja, Muara Enim, Sumatera Selatan.
- Sepriadi, & Webisono. (2021). Evaluasi geometri jalan angkut terhadap produktivitas overburden di Pit TM 4 PT Amanah Anugerah Adi Mulia. *Jurnal Teknik Kebumihan Babuling*, 5(1).
- Silalahi, J. R., Guskarni, & Andini, D. E. Kajian teknis geometri jalan tambang Front 242 untuk pencapaian produktivitas alat angkut di PT Semen Padang (Persero) Tbk. Jurusan Teknik Pertambangan, Universitas Bangka Belitung.
- Simaremare, E., Ratminah, W. D., Nursanto, E., & Lusantono, O. W. (2024). Kajian teknis geometri jalan angkut tambang untuk meningkatkan produktivitas overburden removal pada penambangan batubara Pit 14 PT Darma Henwa Site Asam-Asam, Kalimantan Selatan. *Jurnal Teknologi Pertambangan*, 10(1).
- Soeharto, I. (1995). Manajemen proyek dari konseptual sampai operasional. Erlangga.
- Suwandhi, A. (2004). Perencanaan jalan tambang. Diklat Perencanaan Tambang Terbuka UNISBA.
- Wally, A. M., Trides, T., Winarno, A., Hasan, H., & Oktaviani, R. (2025). Penentuan geometri jalan akses berdasarkan AASHTO dan Kepmen 1827 di Pit A4 Benaung PT Energi Cahaya Industritama. *Konstruksi: Publikasi Ilmu Teknik, Perencanaan Tata Ruang dan Teknik Sipil*, 3(1), 70–79. <https://doi.org/10.61132/konstruksi.v3i1.716>
- Wita, R., Zainal, I., & Wijaksana, R. K. (2024). Kajian desain jalan tambang pengangkutan batubara dari pit menuju stockpile. *Jurnal Riset Teknik Pertambangan (JRTP)*.
- Yudhistira, D., Husni, A., & Arisanti, R. (2024). Analisis kelayakan geometri jalan angkut Pit E berdasarkan standar AASHTO di PT Satria Bahana Sarana, Tanjung Enim Sumatera Selatan. *Pondasi: Journal of Applied Science Engineering*, 1(4), 105–112.