



Evaluasi Geometri Jalan Angkut Batubara Menggunakan Hasil Pengukuran *Terrestrial Laser Scanner* di PT Trubaindo Coal Mining Kabupaten Kutai Barat Provinsi Kalimantan Timur

Arya Lawing Sembiring^{1*}, Windhu Nugroho², Ardhan Ismail³, Henny Magdalena⁴, Agus Winarno⁵

¹⁻⁵ Program Studi Teknik Pertambangan, Fakultas Teknik, Universitas Mulawarman, Indonesia
Email: aryalawing@gmail.com¹, windhu.n@ft.unmul.ac.id²

*Penulis Korespondensi: aryalawing@gmail.com¹

Abstract. *The evaluation of haul road geometry at PT Trubaindo Coal Mining was conducted to ensure that the haul road from the stockroom to the jetty meets applicable technical standards, thereby supporting the smoothness, safety, and efficiency of coal transportation activities. This study aims to analyze the conformity of haul road geometric parameters, including straight road width, curve width, curve radius, cross slope, longitudinal grade, and superelevation, based on the standards of AASHTO 7th Edition and Kepmen 1827 of 2018. The research method employed field measurements using a Terrestrial Laser Scanner (TLS), followed by data processing using Maptek and Surpac software. The obtained data were then compared with the applicable standards to determine the level of conformity of the haul road geometry. Based on field measurements, the average values obtained were 14.99 m for straight road width, 18.45 m for curve width, 0.22 m for cross slope, 6.97% for grade, 223.51 m for curve radius, and 1.40 m for superelevation. Furthermore, based on calculations and analysis referring to AASHTO 7th Edition and Kepmen 1827 of 2018, and considering the largest haulage equipment used (Volvo FMX 480), the ideal haul road geometry values were determined as follows: 13 m for straight road width, 17 m for curve width, 124 m for curve radius, 0.26 m for cross slope, 1 m for superelevation, and 6% for grade based on PT Trubaindo Coal Mining standards.*

Keywords: AASHTO 2018; Geometric Evaluation; Haul Road Geometry; Kepmen 1827; Terrestrial Laser Scanner.

Abstrack. Evaluasi geometri *hauling road* pada PT Trubaindo Coal Mining dilakukan untuk memastikan bahwa jalan angkut dari stockroom menuju *jetty* telah memenuhi standar teknis yang berlaku, sehingga dapat menunjang kelancaran, keselamatan, dan efisiensi aktivitas pengangkutan batubara. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis kesesuaian parameter geometri jalan meliputi lebar jalan lurus, lebar jalan tikungan, jari-jari tikungan, kemiringan melintang (*cross slope*), kelandaian memanjang (*grade*), dan *superelevasi*, berdasarkan acuan AASHTO edisi 7 dan Kepmen 1827 tahun 2018. Metode penelitian yang digunakan adalah pengukuran langsung di lapangan dengan alat *Terrestrial Laser Scanner* serta pengolahan data menggunakan perangkat lunak *software maptek* dan *software surpac*. Data yang diperoleh kemudian dibandingkan dengan standar yang berlaku untuk menentukan tingkat kesesuaian geometri jalan angkut. Berdasarkan hasil pengukuran di lapangan diperoleh nilai rata-rata untuk lebar jalan lurus sebesar 14.99 m, lebar jalan tikungan sebesar 18.45 m, *cross slope* sebesar 0.22 m, *grade* sebesar 6.97%, jari-jari tikungan sebesar 223.51 m, dan *superelevasi* sebesar 1.40 m. Selanjutnya, berdasarkan hasil perhitungan dan analisis mengacu pada standar AASHTO Edisi 7 dan Kepmen 1827 tahun 2018 serta mempertimbangkan alat angkut terbesar yaitu Volvo FMX 480, diperoleh nilai geometri jalan ideal yaitu lebar jalan lurus 13 m, lebar jalan tikungan sebesar 17 m, jari-jari tikungan sebesar 124 m, *cross slope* sebesar 0.26 m, *superelevasi* sebesar 1 m dan untuk *grade* jalan berdasarkan standar dari PT Trubaindo Coal Mining adalah 6 %.

Kata Kunci: AASHTO 2018; Evaluasi Geometri; Kepmen 1827; *Terrestrial Laser Scanner*; Geometri Jalan Angkut.

1. LATAR BELAKANG

Beberapa studi sebelumnya menunjukkan bahwa ketidaksesuaian geometri jalan angkut terhadap standar AASHTO Edisi 7 Tahun 2018 dan Kepmen ESDM Nomor 1827 Tahun 2018 dapat berdampak signifikan terhadap produktivitas dan keselamatan kerja. Hasil observasi lapangan pada jalur *hauling* PT TCM menunjukkan adanya indikasi ketidaksesuaian geometri jalan, meliputi lebar jalan, *cross slope*, *superelevasi*, dan *grade* pada beberapa segmen. Berdasarkan kondisi tersebut, segmen KM 47, KM 51, KM 25, dan KM 33 dipilih sebagai lokasi penelitian karena mewakili variasi kondisi geometri jalan aktual serta direkomendasikan oleh pihak perusahaan untuk dilakukan evaluasi.

Evaluasi kondisi geometri jalan angkut memerlukan metode pengukuran yang akurat, cepat, dan mampu merepresentasikan kondisi lapangan secara menyeluruh. Teknologi *Terrestrial Laser Scanner* (TLS) digunakan dalam penelitian ini karena mampu menghasilkan data tiga dimensi beresolusi tinggi dengan tingkat ketelitian yang lebih baik dibandingkan metode konvensional, serta efektif dalam mengidentifikasi permasalahan geometri jalan secara presisi.

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis dan mengevaluasi geometri jalan angkut batubara di PT Trubaindo Coal Mining berdasarkan standar AASHTO Edisi 7 Tahun 2018 dan Kepmen ESDM Nomor 1827 Tahun 2018, dengan mempertimbangkan dimensi alat angkut terbesar yang digunakan. Hasil penelitian diharapkan dapat memberikan rekomendasi perbaikan geometri jalan guna meningkatkan efisiensi, kelancaran lalu lintas, serta keselamatan kerja dalam kegiatan penambangan batubara.

Geometri jalan angkut merupakan bagian dari perencanaan yang lebih di tekankan pada perencanaan bentuk fisik sehingga dapat memenuhi fungsi dasar jalan yaitu memberikan jalan yang optimum pada arus lalu lintas yang beroperasi di atasnya, karena tujuan dari perencanaan geometri jalan adalah menghasilkan infrastruktur yang aman, efisiensi pelayanan arus lalu lintas memaksimalkan rasio tingkat penggunaan atau biaya pelaksanaan. Suatu geometri jalan angkut mempunyai komponen dimana dalam merencanakan rekonstruksi jalan angkut tersebut yang mana komponen itu dibatasi dengan lebar jalan pada kondisi jalan lurus, lebar jalan pada tikungan, jari-jari tikungan, *cross slope* dan kemiringan jalan (*grade*) dan *superelevasi* (Suwandhi, 2004).

2. KAJIAN TEORITIS

Lebar Jalan Angkut Pada Jalan Lurus

Lebar jalan minimum pada jalan lurus dengan lajur ganda atau lebih, menurut *Aasho Manual Rural High Way Design*, harus ditambah dengan setengah lebar alat angkut pada bagian tepi kiri dan kanan jalan.

$$L_{\min} = (n \times W_t) + (n + 1) \times (0,5 \times W_t)$$

Keterangan:

L_{\min} = Lebar jalan minimum (m) n = Jumlah jalur

W_t = Lebar alat angkut (m)

Lebar Jalan Angkut Pada Tikungan

Lebar jalan pada tikungan selalu dibuat lebih besar dari pada jalan lurus. Hal ini dimaksudkan agar untuk mengantisipasi adanya penyimpangan lebar alat angkut yang disebabkan oleh sudut yang dibentuk oleh roda depan (Sulistiyana, 2018).

$$W_{\min} = n (U + F_a + F_b + Z) + C \quad C = Z = 0,5 (U + F_a + F_b)$$

$$F_a = A_d \sin \theta \quad F_b = A_b \sin \theta$$

Keterangan:

W_{\min} = Lebar jalan pada tikungan minimum (m)

U = Lebar jejak roda (*center to center tire*) (m)

F_a = Lebar jantai depan (Jarak as roda depan dengan bagian depan truck); dikoreksi dengan sinus penyimpangan roda (m)

F_b = Lebar jantai belakang (Jarak as roda belakang dengan bagian belakang (m)

n = Jumlah jalur

A_d = Jarak as roda depan dengan bagian depan alat angkut (m)

A_b = Jarak as roda belakang dengan bagian belakang alat angkut (m)

θ = Sudut penyimpangan (belok) roda depan ($^{\circ}$)

C = Jarak antar dua alat angkut yang akan bersimpangan (m)

Z = Jarak sisi luar truk ke tepi jalan (m)

Jari – Jari Tikungan

Jari-jari minimum adalah nilai kelengkungan yang membatasi untuk kecepatan desain tertentu dan ditentukan dari tingkat maksimum *superelevasi* dan faktor gesekan samping maksimum yang dipilih untuk desain. Minimum radius kelengkungan didasarkan pada ambang batas kenyamanan pengemudi yang cukup untuk memberikan batas keamanan terhadap penyaradan dan tergulingnya kendaraan. Jari-jari kelengkungan minimum juga merupakan nilai kontrol yang penting untuk menentukan tingkat *superelevasi* untuk tikungan yang lebih datar. Persamaan untuk menentukan Rmin adalah sebagai berikut (AASHTO, 2018).

$$R_{min} = \frac{v^2}{127 (0,01 \times e_{min} + f_{min})}$$

Keterangan :

Rmin = Jari-jari belokan minimal, (m)

v = Kecepatan kendaraan, (km/jam)

e_{min} = *Superelevasi* minimal, (%)

f_{min} = *Fraction*

Cross Slope

Cross slope adalah sudut yang dibentuk oleh dua sisi permukaan jalan terhadap bidang horizontal. Pada umumnya jalan angkut mempunyai bentuk penampang melintang cembung. Pada konstruksi jalan angkut *surface mining* besarnya *cross slope* yang dianjurkan mempunyai ketebalan antara ¼ sampai ½ *inch* untuk satu *feet* jarak horizontal atau sekitar 20 mm sampai 40 mm untuk tiap meter (Suwandhi, 2004).

$$P = 0,5 \times L$$

$$C_f = P \times 40 \text{ mm/m}$$

Keterangan:

P = setengah Lebar jalan

L = Lebar jalan Ideal

C_f = *Cross slope* ideal

Kemiringan Jalan Angkut (*Grade*)

Kemiringan jalan angkut dapat berupa jalan menanjak ataupun jalan menurun yang di sebabkan perbedaan ketinggian pada jalur jalan. Kemiringan jalan berhubungan langsung dengan kemampuan alat angkut, baik dalam pengereman maupun dalam mengatasi tanjakan. Kemiringan jalan maksimum yang dapat dilalui dengan baik oleh alat angkut *truck* berkisar antara 10% - 15% atau sekitar 6° - 8,5°. Akan tetapi untuk jalan naik atau turun pada lereng bukit lebih aman bila kemiringan jalan maksimum sekitar 8% (Sulistiyana, 2018).

$$Grade (\%) = \Delta H \times \frac{100}{\Delta X}$$

Keterangan:

ΔH = Beda tinggi antara dua titik yang di ukur (m)

ΔX = Jarak datar antara dua titik yang diukur (m)

Superelevasi

Superelevasi adalah kemiringan melintang jalan pada tikungan, merupakan kemiringan jalan pada tikungan yang terbentuk oleh batas antara tepi jalan terluar dengan tepi jalan terdalam karena perbedaan ketinggian. Apabila suatu kendaraan bergerak dengan kecepatan tetap pada bidang yang datar atau miring dengan lintasan berbentuk lengkung seperti lingkaran maka pada kendaraan tersebut bekerja gaya sentrifugal yang akan mendorong kendaraan secara radial keluar jalur jalan kearah tegak lurus terhadap kecepatan. Selain itu *superelevasi* juga berfungsi untuk mengalirkan air agar tidak menggenangi jalan angkut pada saat hujan (Sulistiyana, 2018).

$$e + f = \frac{v^2}{127 R}$$

Keterangan:

e = Angka *superelevasi* (mm/m)

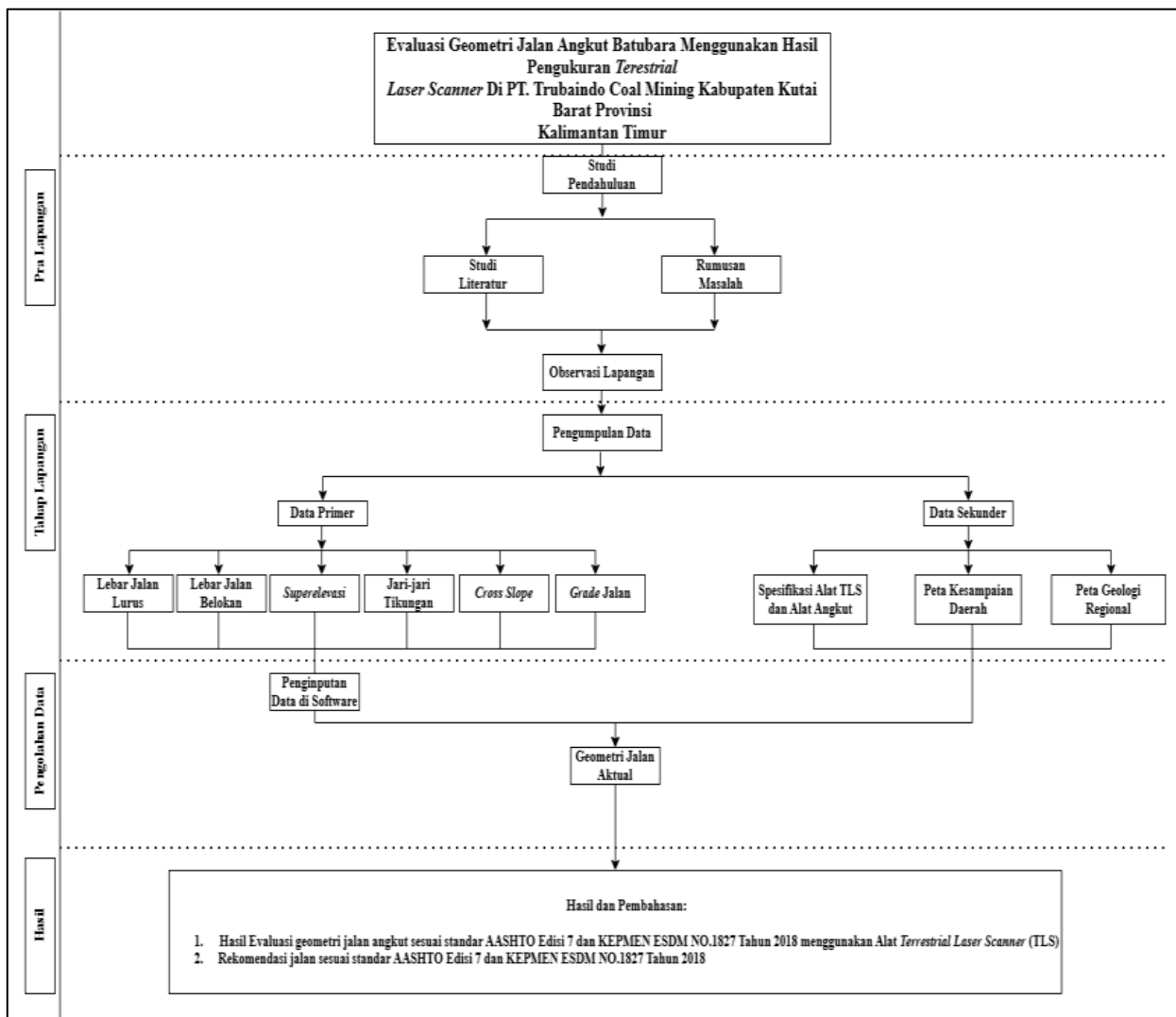
v = Kecepatan kendaraan (km/jam)

Terrestrial Laser Scanner (TLS) merupakan suatu alat pencitraan aktif menggunakan laser yang dapat dengan cepat mendapatkan satu set titik (*point clouds*) dari suatu permukaan objek yang berada dipermukaan tanah dalam satu kali pengukuran. *Point clouds* adalah sekumpulan titik data yang di beberapa koordinat dan membentuk suatu objek tertentu. Dalam sistem koordinat tiga dimensi, titik-titik ini biasanya ditentukan oleh koordinat X, Y, dan Z. Koordinat ini sering dimaksudkan untuk mewakili permukaan luar objek (Quintero, 2008).

3. METODE PENELITIAN

Metode penelitian yang digunakan adalah kualitatif yaitu dengan mengambil data yang dibagi menjadi 2 yaitu primer dan sekunder, data primer yang diambil berupa geometri jalan angkut yang meliputi lebar jalan lurus, lebar jalan berbelok, jari – jari tikungan, *cross slope*, *grade* jalan dan *superelevasi*. Sedangkan data sekunder yang diambil yaitu berupa peta geologi regional, peta kesampaian daerah penelitian dan juga spesifikisasi alat angkut batubara terbesar yang beroperasi pada jalan angkut serta Spesifikasi alat TLS.

Penelitian ini terdiri dari beberapa tahapan yaitu pengambilan data aktual geometri jalan angkut yaitu lebar jalan diambil dengan menggunakan meteran roda, jari – jari tikungan diambil dengan menggunakan mobil LV perusahaan dan juga untuk nilai *cross slope*, *grade* jalan dan *superelevasi* diambil dengan menggunakan *Terrestrial Laser Scanner* Leica HDS 8800 untuk data koordinat kemudian data tersebut diolah menggunakan *Software* maptek dan *Software* surpac untuk mengetahui nilai *cross slope*, *grade* jalan dan *superelevasi* aktual dilapangan. Kemudian setelah mendapatkan nilai geometri jalan aktual dilapangan, lalu dihitung berdasarkan standar AASHTO dan KEPMEN 1827 tahun 2018 untuk geometri jalan ideal dengan mempertimbang akan jumlah jalur yang digunakan dan juga alat angkut terbesar yang beroperasi di jalan tersebut. Lalu diberikan rekomendasi jalan angkut yang ideal sesuai standar AASHTO dan KEPMEN 1827 tahun 2018.



Gambar 1. Diagram Alir Penelitian

Adapun pengolahan data yang dilakukan dalam penelitian ini meliputi:

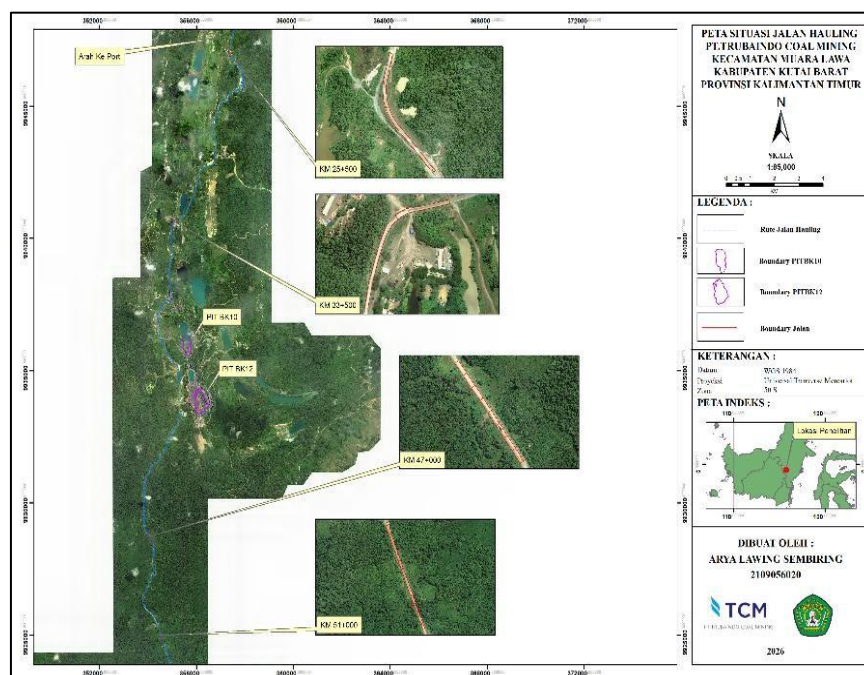
- 1) Pengolahan *Terrestrial Laser Scanner*: Setelah di dapatkan data di lapangan dari hasil Scan TLS berupa *point cloud*, data tersebut akan diolah di dalam *Software* Maptek yang nantinya akan menghasilkan data DEM yang dibutuhkan dalam pengolahan data di *Software* surpac. Untuk mengolah data TLS diperlukan pengimputan pada *Software* Maptek, *Software* Maptek digunakan untuk proses filtrasi. Filtrasi merupakan tahap menghilangkan data *point clouds* yang tidak diperlukan dari data hasil pemindaian yang dianggap sebagai *noise*. Data *point clouds* yang dianggap sebagai *noise* seperti objek pohon, manusia, pagar, dan objek lainnya. Apabila *noise* tidak dibersihkan maka akan mempengaruhi data yang dibutuhkan.
- 2) Perhitungan lebar jalan angkut pada jalan lurus: Pada jalan lurus teknik pengolahan data tidak menggunakan *Software* Surpac dan *Software* Maptek, karena pengukuran dilapangan hanya menggunakan meteran roda untuk mengukur langsung lebar jalan lurus aktual dilapangan.
- 3) Perhitungan lebar jalan angkut pada jalan berbelok: Pada pengukuran lebar jalan berbelok, pengukuran yang dilakukan hanya menggunakan meteran roda untuk mendapatkan lebar jalan aktual pada jalan berbelok.
- 4) Perhitungan pada jari-jari tikungan: Pengukuran jari – jari tikungan menggunakan mobil LV dan juga hasil data *Laser scanner* untuk mengetahui berapa panjang dari jari – jari tiap tikungan.
- 5) Perhitungan *superelevasi*: Tahap pertama yang harus kita lakukan untuk mengukur *superelevasi* adalah memasukan str dari desain jalan berbelok yang sudah kita buat. Kemudian diukur nilai *superelevasi* dengan masuk ke menu “*Inquire*” lalu pilih “*Bearing and distance between 2 points*”. Lalu di klik kedua titik yaitu sisi kiri dan kanan tepi jalan yang ingin diukur *superelevasinya*, dan nilai *superelevasi* akan muncul pada bagian bawah *Software* Surpac.
- 6) Perhitungan *cross slope*: Tahap pertama pengukuran *cross slope* dengan *Software* Surpac adalah dengan cara memasukan data desain jalan lurus str yang sudah kita buat. Setelah itu masuk ke menu “*Inquire*” lalu pilih “*Bearing and distance between 2 points*”. Lalu di klik kedua titik yaitu sisi kiri dan as jalan kemudian sisi kanan dan as jalan yang ingin diukur *cross slope*, dan nilai *cross slope* akan muncul pada bagian bawah *Software* Surpac.

7) Perhitungan pada kemiringan jalan angkut (*grade*): Tahap pertama pengukuran *grade* jalan dengan *Software* Surpac adalah memasukan data desain jalan yang menanjak yang sudah dibuat dalam bentuk str. Lalu dipilih titik terendah dan tertinggi, kemudian dibuat str baru dari titik terendah dan tertinggi tersebut. Kemudian masuk ke menu “*Inquire*” lalu pilih “*Bearing and distance between 2 points*”, kemudian klik titik terendah dan titik tertinggi dari str baru yang kita buat, dan nilai *grade* jalan akan muncul pada bagian bawah *Software* Surpac.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Di PT TCM terdapat jalur *hauling* sepanjang 85 kilometer yang digunakan untuk pengangkutan batubara. Seiring berjalannya waktu, jalan angkut tersebut mulai mengalami kerusakan akibat pengaruh kelembapan dan operasional alat berat. Dikarenakan adanya penekanan dari alat berat yang berlalu Lalang, Untuk memberikan rekomendasi desain jalan yang optimal sesuai dengan standar AASHTO Edisi 7 dan KEPMEN 1827 Tahun 2018. Geometri jalan angkut dilapangan yaitu meliputi lebar jalan lurus, lebar jalan pada belokan, jari – jari tikungan, *cross slope*, *grade* jalan dan *superelevasi*.

Pada gambar 1 terdapat peta situasi geometri jalan angkut *hauling* pada PTTCM dan terbagi menjadi beberapa yang sudah ditandai dalam peta tersebut, dengan dibedakan beberapa warna diantaranya yaitu, warna merah merupakan jalan lurus dan berbelok, warna hitam merupakan rute jalan *hauling*, warna ungu merupakan *boundary Pit*.



Gambar 1. Peta Situasi Jalan *Hauling* PTTCM

Lebar Jalan Lurus

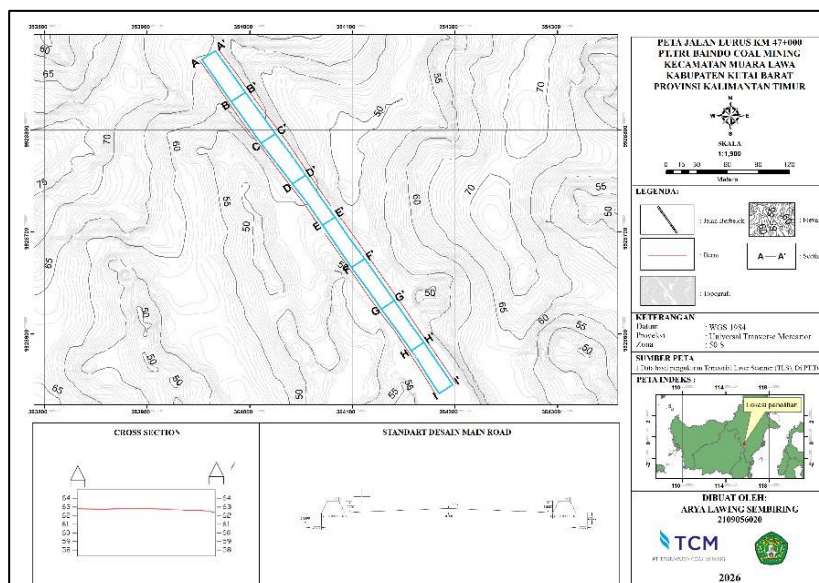
Pada Jalan Lurus KM 47+000

Untuk melakukan pengukuran jalan lurus pada titik jalan angkut KM 47+000, jalan tersebut dibagi menjadi beberapa bagian, masing-masing dengan panjang 50 meter. Pengumpulan data jalan lurus dilakukan menggunakan meteran roda. Untuk hasil pengukuran dapat dilihat pada tabel 1.

Tabel 1. Lebar Jalan Lurus Dilokasi Jalan Angkut KM 47+000

No	Segmen	Lebar aktual pada jalan lurus (m)	Lebar Ideal pada jalan lurus (m)	Lebar jalan yang perlu dilakukan perbaikan (m)	Jarak (m)	Ideal/Tidak Ideal
1	A-B	15.94	13	-	50	Ideal
2	B-C	16.41	13	-	50	Ideal
3	C-D	16.86	13	-	50	Ideal
4	D-E	15.48	13	-	50	Ideal
5	E-F	14.31	13	-	50	Ideal
6	F-G	15.30	13	-	50	Ideal
7	G-H	15.08	13	-	50	Ideal
8	H-I	14.71	13	-	50	Ideal
9	I-J	15.60	13	-	50	Ideal

Pada lokasi jalan angkut KM 47+000, panjang jalannya adalah 400 meter. Lebar jalan lurus ideal untuk PT TCM ditemukan sebesar 13 meter berdasarkan perhitungan yang menggunakan standar AASHTO dan Kepmen No.1827, dengan mempertimbangkan unit terbesar yang beroperasi pada jalur angkut tersebut yaitu Volvo FMX 480. Karena seluruh segmen pada KM 47+000 telah memenuhi persyaratan AASHTO dan Kepmen No. 1827, maka segmen tersebut dinyatakan sudah sesuai dan tidak memerlukan evaluasi lebih lanjut. Untuk gambar peta dapat di lihat pada gambar 2.



Gambar 2. Peta Jalan Lurus di Lokasi Jalan Angkut Km 47+000

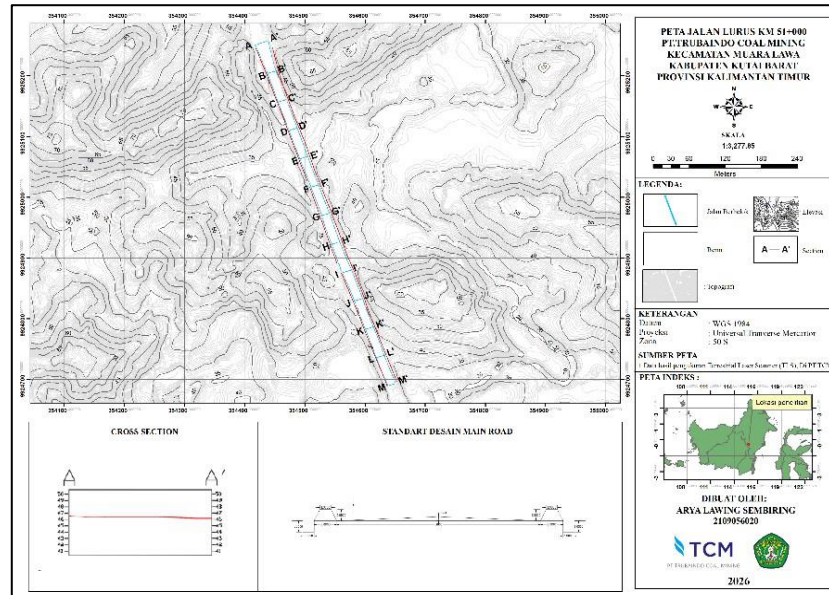
Jalan Lurus KM 51+000

Pada lokasi jalan angkut KM 51+000, pengukuran jalan lurus dilakukan dengan membaginya menjadi beberapa bagian, masing-masing sepanjang 50 meter. Pengumpulan data jalan lurus dilakukan menggunakan meteran roda untuk menentukan kondisi jalan aktual. Untuk hasil pengukuran dapat dilihat pada tabel 2.

Tabel 2. Lebar Jalan Lurus Dilokasi Jalan Angkut KM 51+000

No	Segmen	Lebar aktual pada jalan lurus (m)	Lebar Ideal pada jalan lurus (m)	Lebar jalan yang perlu dilakukan perbaikan (m)	Jarak (m)	Ideal/Tidak Ideal
1	A-B	22,29	13	-	50	Ideal
2	B-C	14,78	13	-	50	Ideal
3	C-D	14,47	13	-	50	Ideal
4	D-E	14,41	13	-	50	Ideal
5	E-F	12,7	13	-0,3	50	Tidak Ideal
6	F-G	12,6	13	-0,4	50	Tidak Ideal
7	G-H	12,8	13	-0,2	50	Tidak Ideal
8	H-I	14,05	13	-	50	Ideal
9	I-J	16,15	13	-	50	Ideal
10	J-K	14,16	13	-	50	Ideal
11	K-L	12,7	13	-0,3	50	Tidak Ideal
12	L-M	14,15	13	-	50	Ideal
13	M-N	12,8	13	-0,2	50	Tidak Ideal

Pada lokasi jalan angkut KM 51+000, panjang jalurnya adalah 600 meter. Lebar jalan lurus ideal untuk PT TCM ditentukan sebesar 13 meter berdasarkan perhitungan menggunakan standar AASHTO dan Kepmen No. 1827, dengan mempertimbangkan unit terbesar yang beroperasi pada jalur angkut tersebut yaitu Volvo FMX 480. Rincian perhitungan dapat dilihat pada Lampiran A No. 1. Sehingga pada KM 51+000 ada 5 segmen perlu dievaluasi dan dilakukan pelebaran yaitu pada segmen E-F harus dilakukan pelebaran sebesar 0,3 meter, Segmen F-G harus dilakukan pelebaran sebesar 0,4 m, Segmen G-H harus dilakukan pelebaran sebesar 0,2 m, Segmen K-L harus dilakukan pelebaran sebesar 0,3 m dan Segmen M-N harus dilakukan pelebaran sebesar 0,2 m. Lebar jalan yang tidak memadai menyebabkan unit operasi harus saling menunggu untuk melewati bagian tertentu, sehingga mengurangi efisiensi dan memerlukan evaluasi tambahan. Untuk gambar peta dapat di lihat pada gambar 3.



Gambar 3. Peta Jalan Lurus di Lokasi Jalan Angkut KM 51+000

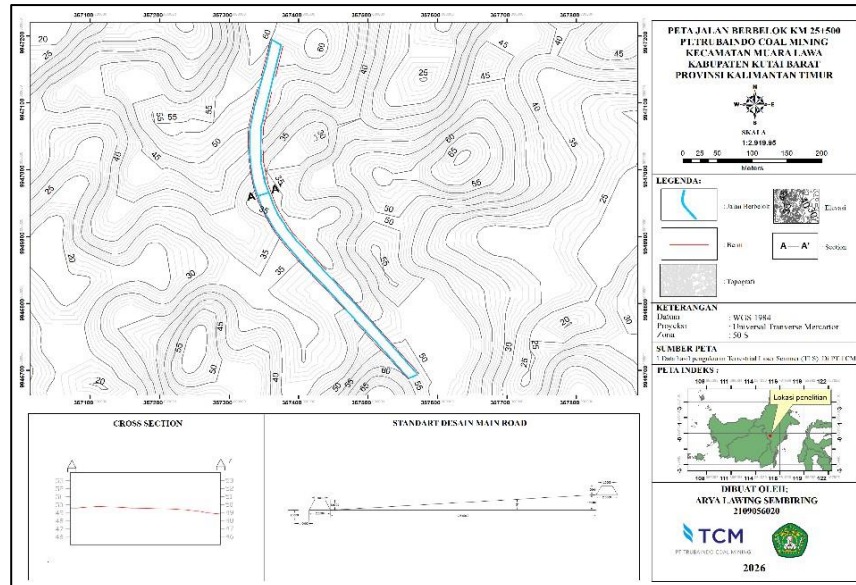
Lebar Jalan Berbelok

Pengukuran Jalan berbelok terdapat dua titik tempat pengambilan data yaitu pada jalan dilokasi km 25+500 yang memiliki panjang 589,993 m dan pada jalan dilokasi KM 33+500 yang memiliki Panjang 598,479 m, Untuk jalan berbelok dapat diukur langsung dilapangan menggunakan meteran roda dan bisa menggunakan data survei langsung yang diukur menggunakan alat *Terrestrial Laser Scanner*. Hasil pengukurannya dapat dilihat pada tabel 3.

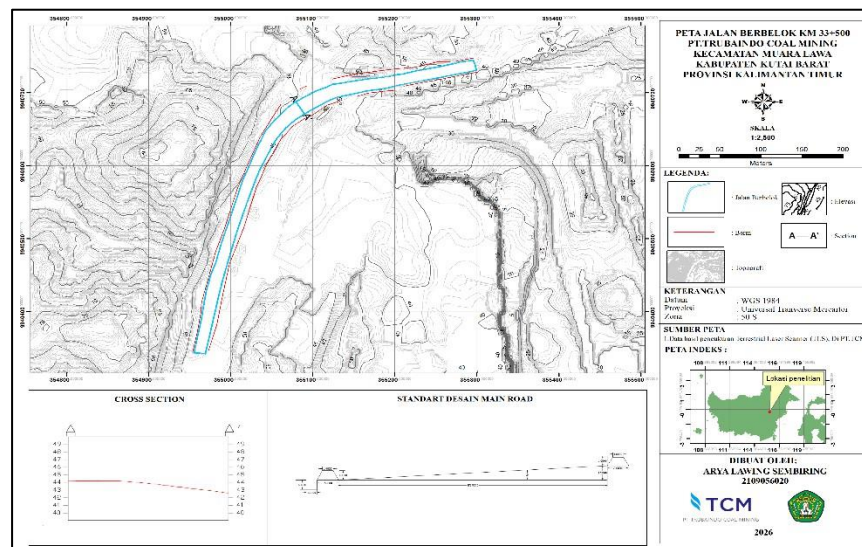
Tabel 3. Lebar Jalan Berbelok

No	Lebar aktual pada jalan tikungan (m)	Lebar ideal pada jalan tikungan (m)	Lebar jalan tikungan yang harus diperbaiki (m)	KM	Ideal/Tidak Ideal
1	16,84	17	0,16	25+500	Tidak Ideal
2	20,06	17	-	33+500	Ideal

Berdasarkan perhitungan dengan menggunakan standar AASHTO Dan Kepmen 1827 dengan mempertimbangkan unit terbesar yang melintasi jalan angkut tersebut yaitu Volvo FMX 480 sehingga didapatkan nilai jalan berbelok ideal yaitu sebesar 17 m, Dari hasil analisis pada masing-masing segmen, diketahui bahwa pada tikungan 1 KM 25+500 lebar tikungan yang tersedia adalah sebesar 16,84 meter, yang berarti masih berada di bawah standar ideal yg ditetapkan AASHTO dan KEPMEN 1827, Oleh karena itu, pada tikungan 1 KM 25+500 perlu dilakukan pelebaran jalan sebesar 0,16 meter agar memenuhi kriteria kenyamanan dan keamanan berkendara, terutama saat kendaraan melintasi tikungan, Sementara itu, pada tikungan 2 KM 33+500 diperoleh lebar tikungan sebesar 20,06 meter, Nilai ini sudah melebihi standar lebar ideal yang ditetapkan, sehingga tidak diperlukan evaluasi atau pelebaran lebih lanjut pada segmen tersebut, Untuk gambar peta dapat di lihat pada gambar 4 dan gambar 5.



Gambar 4. Peta Jalan Berbelok di Lokasi Jalan Angkut KM 25+500



Gambar 5. Peta Jalan Berbelok di Lokasi Jalan Angkut KM 33+500

Jari – Jari Tikungan

Pengukuran jari – jari tikungan dilakukan pada dua titik tikungan, yaitu pada tikungan 1 dilokasi jalan angkut km 25+500 yang memiliki panjang 589,993 m dan tikungan 2 km 33+500 yang memiliki panjang 598,479 m, Dalam pengukuran jari – jari tikungan analisis dilakukan dengan menggunakan hasil pengambilan data menggunakan alat *Terrestrial Laser Scanner* dan juga mobil LV perusahaan pada saat berbelok untuk mengetahui panjang jari – jari tikungan aktual dilapangan, Untuk hasil pengukuran dapat dilihat pada tabel 4.

Tabel 4. Jari-Jari Tikungan

No	Jari - jari aktual pada jalan tikungan (m)	Jari - jari ideal pada jalan tikungan (m)	Jari-jari tikungan yang harus diperbaiki (m)	Km	Ideal/Tidak Ideal
1	209,49	124	-	25+500	Ideal
2	237,54	124	-	33+500	Ideal

Berdasarkan perhitungan dengan menggunakan standar AASHTO dan Kepmen 1827 dengan mempertimbangkan unit terbesar yang melintasi jalan angkut yaitu Volvo FMX 480 sehingga didapatkan nilai jari – jari tikungan ideal yaitu sebesar 124 m, Sehingga untuk jari – jari tikungan tidak perlu dilakukan evaluasi karena semuanya sudah ideal dan memenuhi standar AASHTO dan KEPMEN1827 yaitu sebesar 209,49 m pada tikungan 1 dilokasi jalan angkut km 25+500 dan 237,54 m pada tikungan 2 km 33+500,

Cross Slope

Cross slope yang diambil data aktualnya adalah dilokasi jalan angkut km 47+000 dan km 51+000, Pengukuran *cross slope* dilakukan dengan menggunakan alat *Terrestrial Laser Scanner* dilapangan untuk mengambil data koordinat dan *elevasi*.

Cross Slope KM 47+000

Pengukuran *cross slope* dilokasi jalan angkut KM 47+000 dibagi menjadi beberapa segmen dengan panjang per 50 m, hasil pengukuran dapat dilihat pada tabel 5.

Tabel 5. *Cross Slope* KM 47+000

No	Segmen	<i>Cross slope</i> Aktual (m)	<i>Cross slope</i> Ideal (m)	<i>Cross slope</i> yang Harus Diperbaiki (m)	Jarak (m)	Ideal/Tidak Ideal
1	A-B	0,20	0,26	-0,06	50	Tidak Ideal
2	B-C	0,28	0,26	-	50	Ideal
3	C-D	0,23	0,26	-0,03	50	Tidak Ideal
4	D-E	0,34	0,26	-	50	Ideal
5	E-F	0,26	0,26	-	50	Ideal
6	F-G	0,27	0,26	-	50	Ideal
7	G-H	0,19	0,26	-0,07	50	Tidak Ideal
8	H-I	0,14	0,26	-0,12	50	Tidak Ideal
9	I-J	0,30	0,26	-	50	Ideal

Panjang jalan dilokasi km 47+000 yang diambil data *cross slope* adalah sebesar adalah sebesar 400 m, Berdasarkan perhitungan dengan menggunakan standar AASHTO dan Kepmen 1827 dengan mempertimbangkan unit terbesar yang melintasi jalan angkut tersebut yaitu Volvo FMX 480 sehingga didapatkan nilai *cross slope* ideal yaitu sebesar 0,26 m, perhitungan dapat dilihat pada Lampiran A No 4, Ada beberapa segmen yang sudah ideal yaitu pada segmen B-C sebesar 0,28 m, segmen D-E sebesar 0,34 m, segmen E-F sebesar 0,26 m, segmen F-G sebesar 0,27 m, dan segmen I-J sebesar 0,30 m, Ada empat segmen yang perlu

dievaluasi yaitu pada segmen A-B harus ditambah sebesar 0,06 m atau 6 cm, segmen C-D harus ditambah sebesar 0,03 m atau 3 cm, segmen G-H harus ditambah sebesar 0,07 m atau 7 cm, dan segmen H-I harus ditambah sebesar 0,12 m atau 12 cm.

Merujuk pada perbandingan antara nilai *cross slope* aktual dan nilai ideal pada Tabel 4,5, diketahui bahwa rata-rata kemiringan melintang hasil pengukuran lapangan hanya sebesar 0,25 m, Nilai tersebut menunjukkan selisih yang hampir mendekati standar *ideal* menurut AASHTO 2018 dan KEPMEN 1827, yaitu 0,26 meter, Perbedaan ini menandakan bahwa sebagian besar segmen jalan yang ditinjau memiliki *cross slope* ada yang kurang memenuhi ketentuan ada juga sudah memenuhi ketentuan, Kondisi tersebut dapat menimbulkan dampak yang tidak diinginkan terhadap kinerja jalan, terutama dari sisi drainase permukaan, Kemiringan melintang yang tidak sesuai standar dapat mengakibatkan air hujan tidak mengalir secara efisien menuju saluran pembuangan, sehingga berpotensi menimbulkan genangan pada permukaan jalan, Kehadiran genangan ini bukan hanya mengurangi kenyamanan pengemudi, tetapi juga dapat menurunkan tingkat keselamatan, mempercepat terjadinya kerusakan perkerasan, serta mempengaruhi umur jalan secara keseluruhan, dengan demikian, diperlukan tindakan evaluasi serta penanganan pada ruas-ruas dengan nilai *cross slope* di bawah standar, agar fungsi jalan tetap terjaga, aman, dan nyaman untuk digunakan.

Cross Slope KM 51+000

Pengukuran *cross slope* dilokasi jalan angkut KM 51+000 dibagi menjadi beberapa segmen dengan panjang per 50 m, hasil pengukuran dapat dilihat pada tabel 6.

Tabel 6. *Cross Slope* KM 51+000

No	Segmen	<i>Cross slope</i> Aktual (m)	<i>Cross slope</i> Ideal (m)	<i>Cross slope</i> yang Perlu Diperbaiki (m)	Jarak (m)	Ideal/Tidak Ideal
1	A-B	0,16	0,26	-0,10	50	Tidak Ideal
2	B-C	0,11	0,26	-0,15	50	Tidak Ideal
3	C-D	0,03	0,26	-0,23	50	Tidak Ideal
4	D-E	0,17	0,26	-0,09	50	Tidak Ideal
5	E-F	0,10	0,26	-0,16	50	Tidak Ideal
6	F-G	0,15	0,26	-0,11	50	Tidak Ideal
7	G-H	0,24	0,26	-0,02	50	Tidak Ideal
8	H-I	0,36	0,26	-	50	Ideal
9	I-J	0,15	0,26	-0,11	50	Tidak Ideal
10	J-K	0,21	0,26	-0,05	50	Tidak Ideal
11	K-L	0,16	0,26	-0,10	50	Tidak Ideal
12	L-M	0,35	0,26	-	50	Ideal
13	M-L	0,23	0,26	-0,03	50	Tidak Ideal

Panjang jalan dilokasi km 51+000 yang diambil data *cross slope* adalah sebesar 650 m, Berdasarkan perhitungan dengan menggunakan standar AASHTO dan Kepmen 1827 dengan mempertimbangkan unit terbesar yang melintasi jalan angkut tersebut yaitu Volvo FMX 480 sehingga didapatkan nilai *cross slope* ideal yaitu sebesar 0,26 m, perhitungan dapat dilihat pada Lampiran A No 4, Ada beberapa segmen yang sudah *ideal* yaitu pada segmen H-I sebesar 0,36 dan L-M 0,35, Ada 11 segmen yang perlu dievaluasi yaitu pada segmen A-B harus ditambah sebesar 0,10 m atau 10 cm, segmen B- C harus ditambah sebesar 0,15 m atau 15 cm, segmen C-D harus ditambah sebesar 0,23 m atau 23 cm, segmen D-E harus ditambah sebesar 0,09 m atau 9 cm, segmen E-F harus ditambah sebesar 0,16 m atau 16 cm, Segmen F-G harus ditambah sebesar 0,11 m atau 11 cm, Segmen G-H harus ditambah sebesar 0,02 m atau 2 cm, Segmen I-J harus ditambah sebesar 0,11 m atau 11 cm, Segmen J-K harus ditambah sebesar 0,05 m atau 5 cm, Segmen K-L harus ditambah sebesar 0,10 m atau 10 cm, Segmen M-L harus ditambah sebesar 0,03 m atau 3 cm, Merujuk pada perbandingan antara nilai *cross slope* aktual dan nilai *ideal* pada Tabel 4,6, diketahui bahwa rata-rata kemiringan melintang hasil pengukuran lapangan hanya sebesar 0,19, Nilai tersebut menunjukkan selisih yang cukup jauh dibandingkan standar *ideal* menurut AASHTO 2018, yaitu 0,26 meter, Perbedaan ini menandakan bahwa sebagian besar segmen jalan yang ditinjau memiliki *cross slope* yang kurang memenuhi ketentuan.

Kondisi tersebut dapat menimbulkan dampak yang tidak diinginkan terhadap kinerja jalan, terutama dari sisi drainase permukaan, Kemiringan melintang yang tidak sesuai standar dapat mengakibatkan air hujan tidak mengalir secara efisien menuju saluran pembuangan, sehingga berpotensi menimbulkan genangan pada permukaan jalan, Kehadiran genangan ini bukan hanya mengurangi kenyamanan pengemudi, tetapi juga dapat menurunkan tingkat keselamatan, mempercepat terjadinya kerusakan perkerasan, serta mempengaruhi umur layan jalan secara keseluruhan, Dengan demikian, diperlukan tindakan evaluasi serta penanganan pada ruas-ruas dengan nilai *cross slope* di bawah standar, agar fungsi jalan tetap terjaga, aman, dan nyaman untuk digunakan.

Grade Jalan

Pengukuran *grade* jalan sendiri dilakukan dengan mengambil data koordinat dan *elevasi* Dilapangan menggunakan alat TLS, kemudian data tersebut diolah dengan menggunakan *Software Surpac* untuk mendapatkan nilai *grade* jalan aktual PT, Trubaindo Coal Mining, Pengukuran *grade* dilakukan pada km 51+000 dan mendapatkan nilai *grade* jalan aktual sebesar 3,99° atau 6,97 %, PT, TCM memiliki standar sendiri untuk nilai *grade*

yaitu sebesar 6%, sehingga untuk *grade* jalan harus dilakukan evaluasi dan dikurangi sebesar 0,97 % agar memenuhi standart AASHTO dan Kepmen 1827.

Superelevasi

Pengukuran *superelevasi* dilakukan di dua lokasi, yaitu pada KM 25+500 dan KM 33+500, Pengukuran dilakukan menggunakan *Terrestrial Laser Scanner* (TLS) untuk mengumpulkan data koordinat dan elevasi di lapangan, Nilai *superelevasi* aktual di lapangan kemudian ditentukan dengan mengolah data tersebut menggunakan *Software Maptek* dan *Software Surpac*, Hasil pengukuran *superelevasi* ditampilkan pada Tabel 7.

Tabel 7. Superelevasi

No	Superelevasi Keadaan Aktual (m)	Superelevasi Ideal (m)	Superelevasi yang Harus Diperbaiki (m)	KM	Ideal/Tidak Ideal
1	0,78	1	0,22	25+500	Tidak Ideal
2	2,03	1	1,03	33+500	Tidak Ideal

Panjang jalan dilokasi jalan angkut km 25+500 adalah sebesar 589,993 m dan pada km 33+500 adalah sebesar 598,479 m, Berdasarkan perhitungan dengan menggunakan standar AASHTO dan KEPMEN 1827 dengan mempertimbangkan unit terbesar yang melintasi jalan angkut tersebut yaitu Volvo FMX 480 sehingga didapatkan nilai *superelevasi ideal* yaitu sebesar 1 m, perhitungan dapat dilihat pada Lampiran A No 6, Berdasarkan hasil analisis, nilai *superelevasi* aktual sebesar 0,78 m pada tikungan 25+500 dikategorikan tidak *ideal* dikarenakan kurang dari nilai *superelevasi* ideal sebesar 1,00 m sehingga direkomendasikan perlu dilakukan penambahan ketinggian tepi luar sebesar 0,22 m agar mendekati nilai *superelevasi* ideal ,Berdasarkan hasil analisis, nilai *superelevasi* aktual sebesar 2,03 m pada tikungan 33+500 dikategorikan tidak *ideal* karena melampaui nilai *superelevasi* ideal sebesar 1,00 m dan melebihi batas kemiringan melintang yang aman untuk operasi jalan angkut, Oleh karena itu, direkomendasikan untuk dilakukan penyesuaian kembali geometri melintang dengan menurunkan nilai *superelevasi* hingga mendekati 1,00 m, melalui pengaturan ulang elevasi tepi luar dan tepi dalam tikungan serta penataan ulang permukaan jalan.

5. KESIMPULAN DAN SARAN

Berdasarkan hasil perhitungan yang telah dilakukan Pada jalan lurus dilokasi jalan km 47+000 dan km 51+000 secara teoritis dihitung berdasarkan standar AASHTO Edisi 7 dan Kepmen 1827 Tahun 2018 dan mempertimbangkan lebar alat terbesar yang melintas untuk lebar jalan ideal harus dibuat 13 m, Pada jalan berbelok dilokasi jalan angkut km 25+500 dan 33+500 perhitungan berdasarkan strandar AASHTO Edisi 7 dan Kepmen 1827 Tahun 2018 untuk lebar jalan berbelok ideal harus dibuat 17 m, Jari – jari tikungan pada jalan angkut

dilokasi jalan km 25+500 dan 33+500 semuanya sudah memenuhi standar, *Cross slope* dilokasi jalan km 47+000 dan km 51+000 perhitungan sesuai dengan standar AASHTO Edisi 7 dan Kepmen 1827 Tahun 2018, untuk nilai *cross slope* ideal yang harus dibuat dengan mempertimbangkan lebar jalan yaitu 13 m adalah sebesar 0,26 m, PT, TCM memiliki standar sendiri untuk nilai *grade* jalan yaitu sebesar 6%, sehingga untuk *grade* jalan perlu dikurangi sebesar 0,97% dikarenakan *grade* aktual 6,97%, Secara umum angka *superelevasi* yang dianjurkan untuk mengatasi tikungan jalan pada PT, TCM dengan kecepatan maksimum 60 km/jam dengan lebar jalan ditikungan 17 m adalah 0,06, Sehingga beda tinggi antara sisi dalam dan sisi luar tikungan yang harus dibuat yaitu 1 m.

UCAPAN TERIMA KASIH

Kepada orang tua yang telah memberikan semangat dan dukungan, Bapak dan Ibu dosen yang telah membimbing, mengarahkan serta memberi saran kepada penulis dalam penyusunan jurnal ini serta kepada PT Trubaindo Coal Mining yang telah mewadahi penulis selama melaksanakan penelitian

DAFTAR REFERENSI

- AASHTO., (2018). A Policy on Geometric Design of Highways and Streets, Edisi 7, Washington, D. C.
- Hasim, Z. A., & Basyid, M. A., (2021). Kajian Perbandingan Digital Elevation Model (Dem) Uav Dengan Digital Elevation Model (Dem) Topografi (Studi Kasus: PT Torganda Kawasan Industri Lubuk Gaung Tanjung Penyembal–Sungai Sembilan Kota Dumai). FTSP, 594-604.
- Hustrulid, W., Kuchta, M., dan Martin, R., (2013). Open Pit Mine Planning and Design, Vol 1 Fundamentals. AA Balkema : Netherland.
- Immanuel, B. A. N., (2017). Analisis Ketelitian Model Terain Digital Hasil Pemetaan Metode Fotogrametris Menggunakan Wahana UAV dan Metode *Terrestrial Laser Scanner*. Skripsi. Departemen Teknik Geodesi FT-UGM. Yogyakarta.
- 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. Jakarta: Kementerian ESDM.
- Lama, A. R., (2019). Analisis ketelitian perhitungan volume menggunakan data gridding dan tanpa gridding pada pekerjaan bendungan studi kasus: Bendungan Rotiklot, Kabupaten Belu-NTT. Doctoral dissertation, ITN Malang.
- Li Zhilin, Zhu Qing Dan Gold C. (2005). Digital Terrain Model Principle And Methodology. New York : CRC Press. <https://doi.org/10.1201/9780203357132>
- Nandaru, A., Sudarsono, B., & Yuwono, B. D. (2014). "Studi Registrasi *Point cloud* pada Pemrosesan Data *Terrestrial Laser Scanner* (TLS)". Jurnal Geodesi Undip, 3(4), 201-2011.

- Oktafian, N., dan Sumarya., (2018). Evaluasi Pengaruh Geometri Jalan Angkut Terhadap Produktivitas Dump Truck Pada Pengangkutan Batubara Dari Loading Point Ke
- Prima, A. M., (2018). Evaluasi Geometri Jalan Angkut Dari Front Menuju Stockpile Pada Penambangan Batubara Blok B PT Minemex Indonesia Mandiangin-Jambi, (STTIND) Padang, Padang.
- Quintero, M. S. (2008). Theory And Practice On Terrestrial Laser Scanning. The Learning Tools for Advenced Threedimensional Surveiing in Risk Awareness Project (3D Risk Mapping)
- Rahmadany, V., Tjahjadi, M. E., & Agustina, F. D. (2022). Penggunaan DTM presisi dari Fotogrametri UAV untuk analisa bencana longsor menggunakan Sistem Informasi Geografis. *Jambura Geoscience Review*, 4(2), 86-101. <https://doi.org/10.34312/jgeosrev.v4i2.12908>
- Reshetyuk, Yuriy. (2009). "Self-Calibration and Direct Georeferencing in Terrestrial Laser Scanning". Department of Transport and Economics Division of Geodesy. Vol. PhD
- Rikumahu, M. V., dan Kololua, M., (2023). Evaluasi Teknis Geometri Jalan Angkut dan Produksi Alat Mekanis pada Pengupasan Overburden Pit Angsana CV. Mitra Anugerah Sejahtera Kabupaten Tanah Bumbu Provinsi Kalimantan Selatan, *Jurnal Sosial dan Teknologi Terapan Amata*, Vol. 02, No. 1. <https://doi.org/10.55334/sostek.v2i1.58>
- Sani, R. A., dan Fauzi., (2023). Evaluasi Geometri Jalan Angkut Material Overburden pada Aktivitas Penambangan PIT Kusan Giri Selatan PT Putra Perkasa Abadi, *Jurnal Geomine*, Vol. 11, No. 2, Hal. 134–142.
- Sari, A. S., Ahmad. F., dan Rengga. A.S, (2020). Kajian Teknis Analisis Resiko Jalan Tambang Batubara PT Pasir Walannae, Kabupaten Bone, Provinsi Sulawesi Selatan. *Institute Teknologi Adhi Tama*. Vol. 2, No. 1. ISSN: 2686-0651.
- Stockpile Di Site Ampelu PT Nan Riang Kecamatan Muara Tembesi, Kabupaten Batanghari, Provinsi Jambi, *Jurnal Bina Tambang*, Vol. 3, No. 4. ISSN: 2302-3333.
- Sulistiyana, W., (2018). *Perencanaan Tambang*. Yogyakarta Prodi Teknik Pertambangan, UPN "V" Yogyakarta. ISBN 978-623-7594-31-4.
- Suni, H. A., Yuwono, B. D., & Suprayogi, A. (2019). Analisis Ketelitian Dsm Kota Semarang Dengan Metode Insar Menggunakan Citra Sentinel-1. *Jurnal Geodesi Undip*, 8(3), 17-26.
- Suwandhi, Awang., (2004). *Perencanaan Jalan Tambang, Diklat Perencanaan Tambang Terbuka*, Universitas Islam Bandung.
- Yeriko, Kamril., Windhu Nugroho., Henny Magdalena., Albertus Jovensius Pontus., dan Tommy Trides., (2024). Evaluasi Geometri Jalan Angkut Batubara Pada PT Trubaindo Coal Mining, Kampung Bunyut, Kecamatan Melak, Kabupaten Kutai Barat, Provinsi Kalimantan Timur. *Jurnal Inovasi Global*. Vol. 2, No. 1, E-ISSN: 3031-0512