

Evaluasi Pengaruh Geometri Jalan Angkut Terhadap Produktivitas *Dump Truck* Mitsubishi Fuso 220 PS dari *Front* Penambangan Menuju Unit *Crusher* pada Penambangan Batu Andesit PT Koto Alam Sejahtera.

Fadhilah Maharani^{1*}, and Sumarya^{1**}

¹Jurusan Teknik Pertambangan, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Padang

*fadhilah96maharani@gmail.com

**sumarya@ft.unp.ac.id

Abstract. PT Koto Alam Sejahtera located in Nagari Koto Alam, Pangkalan Koto Baru Subdistrict, Lima Puluh Kota District, West Sumatra Province. The production target of PT Koto Alam Sejahtera is 30.000 tons / month, meanwhile the actual production is 16.965,6 tons / month. Based on observations, the road grade is still high, no cross slope is visible and two conveyances can't pass at the same time because the width on the road is narrow. This type of research is applied research by combining theory and field data to solve problems. The actual road width ranged is from 6,35-12,15 meters while theoretically is 9 meters. The actual bend road width ranges is from 6,20-12,70 meters while theoretically is 12 meters. Actual road grades range from 3,49%-19,44% while the ideal road grade is 8%. The cross slope value for the 9 meter road width is 0,04 and the height difference is 18 cm. The superelevation value for the 12 meter bend width is 0,04 and the height difference is 48 cm. There were 7 straight road width segments that needed to be added and 2 bend road width segments, and there are 8 segments that need to be downgraded. Productivity of Mitsubishi Fuso 220 PS with actual conditions of 16.965,6 tons / month. The estimated increase in the productivity of Mitsubishi Fuso 220 PS after an evaluation is 27.593,89. Theoretical productivity of Mitsubishi Fuso 220 PS after the improvement of work efficiency is 34.395,3 tons / month.

Keywords: Road Geometry, Production, Dump Truck, Work Efficiency, Cross Slope

1. Pendahuluan

PT Koto Alam Sejahtera merupakan perusahaan yang bergerak dalam bidang pertambangan khususnya batu andesit yang berlokasi di Nagari Koto Alam, Kecamatan Pangkalan Koto Baru, Kabupaten Lima Puluh Kota. PT Koto Alam Sejahtera merupakan anak perusahaan dari PT Lubuk Minturun Konstruksi Persada yang bergerak dalam bidang konstruksi dan kontraktor alat berat dalam kegiatan penambangan. PT Koto Alam Sejahtera memiliki luas izin usaha penambangan seluas 10 hektar.

PT. Koto Alam Sejahtera merupakan suatu usaha pertambangan dengan metode penambangan *quarry* dimana proses penambangan dimulai dengan melakukan *land clearing*, pengupasan *overburden*, pengeboran lubang ledak, peledakan, pengolahan dan pemasaran.

Proses produksi batu Andesit PT Koto Alam Sejahtera saat ini belum memenuhi target produksi,

dimana target produksi PT Koto Alam Sejahtera yaitu sebesar 30.000 ton/bulan. Namun, pada bulan Maret produksi andesit hanya mencapai 24.000 ton sedangkan pada bulan April hanya mencapai 29.000 ton. Setelah melakukan pengamatan di lapangan, penulis mengamati terjadinya antrian *dump truck* pada hopper, hal tersebut mengurangi efisiensi kerja alat angkut dan alat muat, selanjutnya penulis juga mengamati bahwa tidak serasinya antara kerja alat angkut dan alat muat, dimana alat gali muat sering menunggu alat angkut yang disebabkan oleh kondisi jalan yang belum memenuhi standar.

Hal ini dapat dilihat dari lebar jalan yang sempit karena hanya bisa dilalui oleh satu *dump truck* dengan lebar jalan lurus berkisar antara 6,35-12,15 meter dengan lebar *dump truck* sebesar 2,46 meter sehingga menyebabkan salah satu *dump truck* harus berhenti ketika berpapasan. *Grade* jalan yang berkisar antara

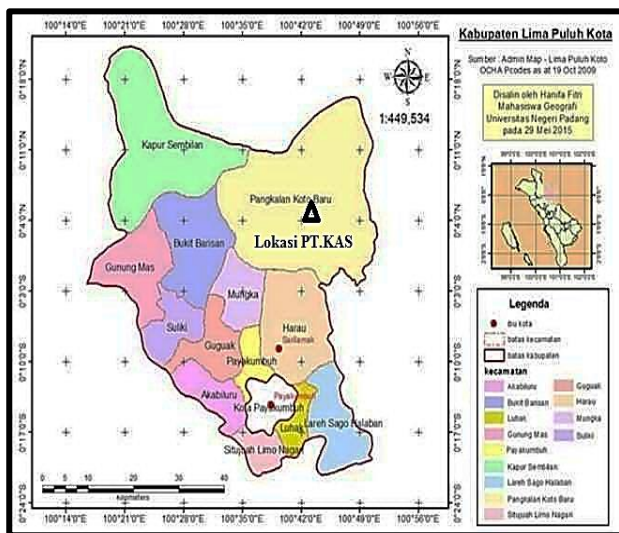
3,49%-19,44%, *grade* jalan yang tinggi menyebabkan *dump truck* memperlambat kecepatannya baik pada turunan dan tanjakan. *Cross slope* yang tidak ada sehingga pada saat hujan air mengikis permukaan jalan, dan kurangnya perawatan dan penyiraman jalan pada musim panas yang menyebabkan debu menghambat pandangan operator *dump truck*.

Untuk meningkatkan produktivitas alat angkut pada front penambangan perlu adanya evaluasi terhadap geometri jalan angkut. Evaluasi tersebut dapat berupa evaluasi lebar jalan lurus dan lebar jalan tikungan, kemiringan (*grade*) jalan, *cross slope* (kemiringan melintang), dan superelevasi. Menggunakan analisis *rimpull* kita dapat mengetahui estimasi waktu edar alat angkut setelah geometri jalan angkut diperbaiki sehingga kita akan mendapatkan estimasi produktivitas dari alat angkut tersebut.

Oleh karena itu penulis tertarik untuk melakukan penelitian dengan judul “Evaluasi Pengaruh Geometri Jalan Angkut terhadap Produktivitas *dump truck* Mitsubishi Fuso 220 PS dari Front Penambangan Menuju Unit Crusher pada Penambangan Batu Andesit PT Koto Alam Sejahtera.

2. Lokasi Penelitian

Lokasi PT Koto Alam terletak di Nagari Koto Alam, Kecamatan Pangkalan Koto Baru, Kabupaten Lima Puluh Kota, yang berjarak ± 150 km dari kota Padang dan ± 50 km dari Sarilamak ibu kota Kabupaten Lima Puluh Kota. Lokasi penambangan berjarak 1 Km dari jalan raya. Peta lokasi PT Koto Alam Sejahtera dapat dilihat pada gambar 1 berikut:



Gambar 1. Peta Lokasi PT Koto Alam Sejahtera

3. Metode Penelitian

Penelitian ini dilakukan pada tanggal 24 Juni 2018–24 Juli 2018. Lokasi penelitian ini terletak di Nagari Koto Alam, Kecamatan Pangkalan Koto Baru, Kabupaten Lima Puluh Kota, Provinsi Sumatera Barat .

3.1. Jenis Penelitian

Menurut tujuannya penelitian ini termasuk jenis penelitian terapan. Jenis penelitian yang dilakukan adalah penelitian terapan (*Applied Research*) dengan menggabungkan teori dan data lapangan untuk menyelesaikan masalah. Data yang akan ditampilkan pada tugas akhir ini adalah kuantitatif.

Menurut tujuannya penelitian ini termasuk jenis penelitian terapan. Penelitian terapan (*applied research*) adalah penelitian yang diarahkan untuk mendapatkan informasi yang dapat digunakan untuk memecahkan masalah. Penelitian ini termasuk penelitian deskriptif kuantitatif.

Penelitian terapan lebih menekankan pada penerapan ilmu, aplikasi ilmu, ataupun penggunaan ilmu untuk keperluan tertentu. Penelitian terapan merupakan suatu kegiatan yang sistematis dan logis dalam rangka menemukan sesuatu yang baru atau aplikasi baru dari penelitian yang telah pernah dilakukan selama ini^[1].

3.2. Teknik Pengumpulan Data

Tahap pengumpulan data dimulai dengan studi literatur yaitu mencari bahan-bahan pustaka yang dipakai untuk menghimpun data-data atau sumber-sumber yang berhubungan dengan topik yang diangkat dalam suatu penelitian^[2].

Selanjutnya orientasi lapangan dengan melakukan peninjauan langsung ke lapangan dan untuk mengamati langsung kondisi daerah yang akan dilakukan penelitian serta dapat mengangkat permasalahan yang ada untuk dijadikan topik dalam suatu penelitian.

Kemudian pengambilan data lapangan yaitu data primer dan data sekunder. Data primer berupa geometri jalan angkut (lebar jalan lurus, lebar jalan tikungan, kemiringan (*grade*), *cross slope*, dan superelevasi), *cycle time* alat angkut, efisiensi kerja alat angkut, panjang jalan total dan panjang jalan per segmen, elevasi, koordinat, dan berat alat angkut dalam keadaan kosong dan bermuatan. Data sekunder berupa peta topografi, peta geologi lokal, spesifikasi alat gali muat dan alat angkut, jam kerja alat gali muat dan alat angkut, dan kecepatan rata-rata rencana alat angkut.

3.3. Teknik Pengolahan Data

Analisis data adalah memperkirakan atau dengan menentukan besarnya pengaruh secara kuantitatif dari beberapa kejadian terhadap beberapa kejadian lainnya, serta memperkirakan atau meramalkan kejadian lainnya. Teknik analisis data yang dilakukan dalam penelitian ini yaitu dengan menggabungkan antara teori dengan data-data lapangan, sehingga didapatkan kesimpulan.

3.3.1. Pengambilan Data

Pengambilan data dilakukan setelah studi literatur dan penelitian langsung di lapangan selesai dilaksanakan. Data yang diambil berupa data primer dan data sekunder. Dilakukan dengan cara: Melakukan pengamatan,

mencari faktor penyebab masalah, tindakan perbaikan, dan evaluasi hasil.

Pengambilan data berupa penentuan segmen jalan, pengukuran geometri jalan angkut aktual meliputi lebar jalan lurus dan tikungan, kemiringan (*grade*), *cross slope* dan superelevasi. Produktivitas data-data aktual yang diperlukan adalah *cycle time* alat angkut, efisiensi kerja alat angkut, spesifikasi alat angkut dan berat alat angkut.

3.3.2. Analisis Geometri Jalan Berdasarkan AASHTO

Analisis data dilakukan dengan melakukan beberapa perhitungan. Data disajikan dalam bentuk tabel-tabel atau rangkaian perhitungan dalam penyelesaian masalah yang ada. Penentuan geometri jalan dianalisis menurut AASHTO dan didasarkan pada alat terbesar di PT Koto Alam Sejahtera yaitu *Mitsubishi Fuso 220 PS*.

3.3.3. Analisis Produktivitas Dump Truck

Produktivitas *dump truck* dianalisis pertama dengan melakukan perbaikan terhadap efisiensi kerja alat angkut dengan memperbaiki waktu yang dapat dihindari. Cara kedua dengan menghitung produktivitas alat angkut setelah dilakukan perbaikan efisiensi kerja dan kondisi geometri jalan ideal secara teoritis menggunakan analisis *rimpull*.

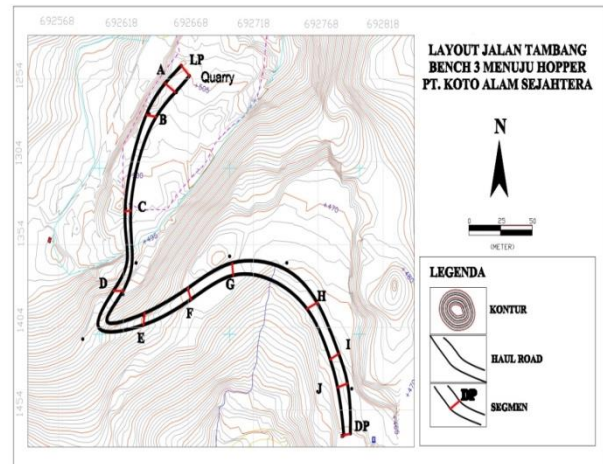
3.3.4. Kesimpulan

Tahap ini diperoleh setelah dilakukan korelasi antara hasil pengolahan data yang telah dilakukan dengan permasalahan yang diteliti serta pemberian saran mengenai perbaikan atau pemeliharaan kondisi jalan angkut sebagai upaya agar alat angkut dapat beroperasi secara optimal dan produksi andesit dari *bench 3* menuju *crusher* tercapai.

4. Hasil dan Pembahasan

4.1. Geometri Jalan Angkut

Jalan yang digunakan untuk menganalisis geometri jalan adalah jalan angkut andesit dari *bench 3* sampai *crusher*. Jalan angkut ini merupakan jalan angkut dengan dua lajur dan penulis membagi jalan angkut tersebut menjadi 11 segmen untuk jalan lurus dan jalan tikungan dengan jarak tempuh dari *bench 3* ke *crusher* ±489,31 meter. *Layout* jalan angkut andesit dari *bench 3* menuju *crusher* dapat dilihat pada gambar 2 berikut:



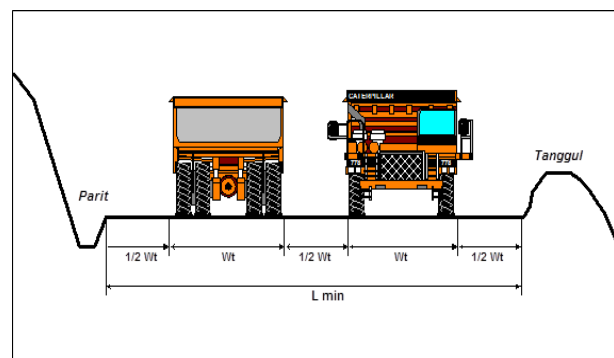
Gambar 2. *Layout* Jalan Angkut Andesit dari *Bench 3* Menuju *Crusher*

Geometri jalan angkut yang dibahas disini meliputi lebar jalan angkut baik lebar jalan lurus maupun lebar jalan tikungan, *grade* (kemiringan jalan), kemiringan melintang (*cross slope*), jari-jari dan superelevasi. Berikut penjelasan masing-masing point tersebut :

4.1.1. Lebar Jalan Angkut

Lebar jalan angkut produksi sangat mempengaruhi kelancaran operasi pengangkutan. Lebar jalan angkut dari *bench 3* menuju *crusher* memiliki lebar yang bervariasi. Pengukuran lebar jalan menggunakan meteran yang diukur pada masing-masing segmen. Perhitungan lebar jalan lurus berbeda dengan lebar jalan tikungan karena jalan lebar tikungan lebih besar daripada lebar jalan lurus Jumlah lajur pada jalan angkut produksi mempunyai 2 lajur (*n*) dengan unit alat angkut terbesar yang menjadi patokan pengukuran lebar adalah *Mitsubishi Fuso 220 PS* yang mempunyai lebar sebesar 2,46 meter (*Wt*). Perhitungan lebar jalan lurus dapat menggunakan rumus berikut^[3,4,5]:

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



Gambar 3. Lebar Jalan Angkut Dua Lajur Pada Jalan Lurus

Lebar jalan minimal 2 lajur untuk jalan lurus adalah:

$$\begin{aligned} L_{min} &= n \cdot Wt + (n + 1) \left(\frac{1}{2} Wt\right) \\ &= 2 \cdot 2,46 \text{ m} + (2+1) \left(\frac{1}{2} \cdot 2,46 \text{ m}\right) \\ &= 4,92 \text{ m} + 3,69 \text{ m} \\ &= 9 \text{ m} \end{aligned}$$

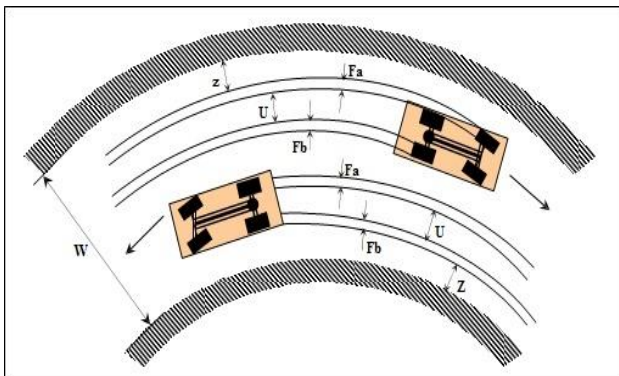
Koreksi lebar jalan lurus dapat dilihat pada tabel 1 berikut:

Tabel 1. Koreksi Lebar Jalan Lurus

Segmen Jalan	Panjang Jalan (m)	Lebar Jalan (m)	Lebar Minimum (m)	Koreksi
LP-A	14,64	7,90	9,00	+1,10 m
A-B	24,10	6,40	9,00	+2,60 m
B-C	60,40	7,45	9,00	+1,55 m
E-F	38,12	6,37	9,00	+2,63 m
F-G	38,71	6,35	9,00	+2,65 m
H-I	38,60	7,30	9,00	+1,70 m
I-J	23,20	12,15	9,00	Ideal
J-DP	28,04	6,57	9,00	+2,43 m

Adapun perhitungan untuk lebar jalan minimal pada tikungan adalah^[6]:

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



Gambar 4. Lebar Jalan Angkut Dua Jalur pada Tikungan

Berdasarkan pengamatan di lapangan alat angkut yang menjadi patokan adalah Mitsubishi Fuso 220 PS. Jarak sumbu roda depan dengan bagian depan (ad) sebesar 1,44 meter, jarak sumbu roda belakang dengan bagian belakang (ab) sebesar 1,78 meter, Sudut penyimpangan roda (α) sebesar 45° , lebar jejak roda (U) sebesar 0,72 m

$$\begin{aligned} \text{Lebar juntai depan (Fa)} &= ad \sin \alpha \\ &= 1,44 \text{ m} (\sin 45^\circ) \\ &= 1,02 \text{ m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Lebar juntai belakang (Fb)} &= ab \sin \alpha \\ &= 1,78 \text{ m} (\sin 45^\circ) \\ &= 1,26 \text{ m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Jarak truck bersimpangan (C)} &= (U + Fa + Fb) / 2 \\ &= (0,72 + 1,02 + 1,26) / 2 \\ &= 1,5 \text{ m} \end{aligned}$$

$$\text{Jarak sisi luar truk ke tepi jalan (Z)} = C = 1,5 \text{ m}$$

Lebar jalan minimal 2 lajur untuk jalan lurus adalah:

$$\begin{aligned} W_{min} &= 2 (U + Fa + Fb + Z) + C \\ &= 2 (0,72 + 1,02 + 1,26 + 1,5) \text{ m} + 1,5 \text{ m} \\ &= 12 \text{ m} \end{aligned}$$

Koreksi lebar jalan tikungan dapat dilihat pada tabel 2 berikut:

Tabel 2. Koreksi Lebar Jalan Tikungan

No.	Segmen Jalan	Panjang Jalan (m)	Lebar Jalan (m)	Lebar Minimum (m)	Koreksi
1	C-D	54,90	6,20	12,00	+5,80 m
2	D-E	90,90	12,70	12,00	Ideal
3	G-H	77,70	11,48	12,00	+0,52 m

4.1.2. Kemiringan Jalan (Grade)

Kemiringan (*grade*) jalan angkut produksi dinyatakan dalam persen (%) yang merupakan perbandingan antara beda tinggi dengan jarak mendatar. Perhitungan untuk kemiringan jalan dapat menggunakan rumus berikut^[7]:

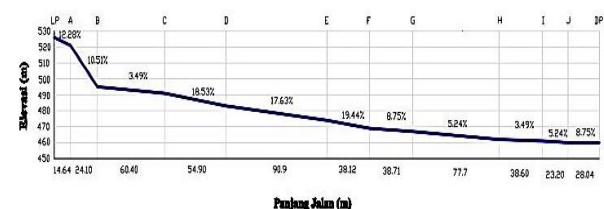
$$\text{Grade (\%)} = \frac{\Delta h}{\Delta x} \times 100\% \quad (3)$$

Kemiringan maksimum yang dapat dilalui alat angkut dengan baik apabila kemiringan jalan angkut sebesar 8%^[8]. Koreksi kemiringan jalan (*grade*) dapat dilihat pada tabel 3 berikut:

Tabel 3. Koreksi Kemiringan Jalan

Segmen	Jarak Mendatar (m)	Beda Tinggi (m)	Grade Aktual (%)	Grade Ideal (%)	Koreksi
LP-A	14,53	1,78	12,28	8	-4,28
A-B	23,97	2,52	10,51	8	-2,51
B-C	60,36	2,11	3,49	8	Ideal
C-D	53,98	10	18,53	8	-10,53
D-E	89,52	15,78	17,63	8	-9,63
E-F	37,42	7,27	19,44	8	-11,44
F-G	38,56	3,37	8,75	8	-0,75
G-H	77,59	4,07	5,24	8	Ideal
H-I	38,58	1,35	3,49	8	Ideal
I-J	23,17	1,21	5,24	8	Ideal
J-DP	27,93	2,44	8,75	8	-0,75

Penampang melintang jalan angkut andesit dari *bench 3* menuju *hopper* dapat dilihat pada gambar 5 berikut:



Gambar 5. Penampang Melintang Jalan Angkut Andesit dari *Bench 3* Menuju *Crsuher*

4.1.3. Jari-Jari Tikungan dan Superelevasi

Superelevasi merupakan kemiringan badan jalan (melintang) pada tikungan. Superelevasi merupakan perbandingan antara beda tinggi dan jarak mendatar 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. Hasil perhitungan superelevasi aktual untuk setiap segmen jalan tikungan dapat dilihat pada tabel 4 berikut:

Tabel 4. Nilai Superelevasi Aktual

Segmen	Lebar Tikungan (m)	Jarak Mendatar (m)	Beda Tinggi (m)	Superelevasi (m/m)
C-D	6,2	6,18	0,43	0,0699
D-E	12,7	12,69	0,44	0,0349
G-H	11,48	11,46	0,6	0,0524

Untuk mendapatkan nilai superelevasi, kecepatan yang digunakan adalah kecepatan maksimum dari alat angkut saat melewati tikungan yaitu sebesar 20 km/jam dengan superelevasi maksimum sebesar 0,1. Sedangkan koefisien gesekan dapat menggunakan perhitungan berikut:

Apabila $V < 80$ km/jam

$$f = (-0,00065 \times V) + 0,192 \quad (4)$$

Apabila V antara 80 – 112 km/jam

$$f = (-0,00125 \times V) + 0,24 \quad (5)$$

Maka untuk harga koefisien gesekan dengan $V = 20$ km/jam adalah:

$$\begin{aligned} f &= (-0,00065 \cdot V) + 0,192 \\ &= (-0,00065 \times 20) + 0,192 \\ &= 0,179 \end{aligned}$$

Jari-jari tikungan jalan angkut berhubungan dengan konstruksi alat angkut yang digunakan, khususnya jarak horizontal antara poros roda depan dan belakang^[9].

$$\begin{aligned} \text{Jari-Jari Tikungan (R)} &= \frac{V^2}{127 \cdot (e+f)} \quad (6) \\ &= \frac{20^2}{127 \cdot (0,1+0,166)} \\ &= 11,28 \text{ m} \end{aligned}$$

Tabel di bawah ini menunjukkan angka superelevasi yang direkomendasikan berdasarkan kecepatan dan jari-jari tikungan.

Tabel 5. Angka Superelevasi yang Direkomendasikan^[10]

Jari-jari Tikungan (m)	Kecepatan Kendaraan (km/jam)					
	16	24	32	40	48	56 atau lebih
15	0,04	0,04				
30	0,04	0,04	0,04			
46	0,04	0,04	0,04	0,05		
76	0,04	0,04	0,04	0,04	0,05	
91	0,04	0,04	0,04	0,04	0,05	0,06
183	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,05
305	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04

Berdasarkan tabel 5 di atas, dengan menggunakan kecepatan 20 km/jam (12,43 mph) dan jari-jari tikungan sebesar 11,28 meter (36,98 feet) maka angka superelevasi yang disarankan sebesar 0,04 dan beda tinggi yang harus dibuat yaitu :

$$Tg \alpha = e$$

$$Tg \alpha = 0,04$$

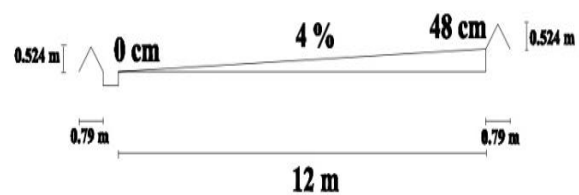
$$\alpha = 2,2906^\circ$$

$$a = r \times \sin \alpha$$

$$a = 12 \text{ m} \times \sin 2,2906^\circ$$

$$a = 0,48 \text{ m} = 48 \text{ cm}$$

Berdasarkan perhitungan diatas, beda tinggi antara sisi dalam dan sisi luar tikungan yang harus dibuat adalah 0,48 meter atau 48 cm untuk lebar minimal pada jalan tikungan sebesar 12 meter. Penampang melintang superelevasi dapat dilihat pada gambar 6 berikut:



Gambar 6. Penampang jalan tikungan

4.1.4. Cross Slope

Kemiringan melintang (*cross slope*) merupakan sudut yang dibentuk oleh dua sisi permukaan jalan terhadap bidang horisontal^[11]. Kemiringan jalan (*cross slope*) sangat dibutuhkan untuk mengatasi masalah pengaliran di permukaan jalan, terutama pada saat turun hujan. Jalan angkut yang baik memiliki kemiringan melintang (*cross slope*) antara 1/50 sampai 1/25 atau 20 mm/m sampai 40 mm/m^[12].

Perhitungan untuk *cross slope* dan yang seharusnya diterapkan oleh PT Koto Alam Sejahtera dengan lebar minimal jalan lurus 9 meter pada *bench 3* menuju *crusher* dapat menggunakan rumus berikut :

$$P = \frac{1}{2} \times L \quad (7)$$

$$q = p \times 40 \text{ mm/m}$$

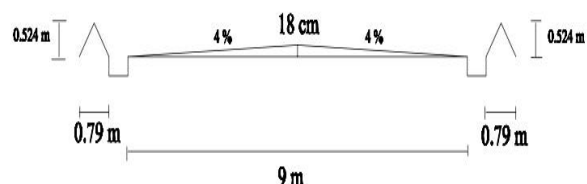
$$P = \frac{1}{2} \times 9 \text{ m}$$

$$P = 4,5 \text{ m}$$

$$q = 4,4 \text{ m} \times 40 \text{ mm/m}$$

$$q = 180 \text{ mm} = 18 \text{ cm}$$

Sehingga beda tinggi yang harus dibuat dengan lebar jalan lurus sebesar 12 meter adalah 180 mm atau 18 cm. Penampang melintang *cross slope* dapat dilihat pada gambar 6 berikut:



Gambar 6. Penampang jalan lurus

4.2. Perhitungan Rimpull

Berat <i>dump truck</i> kosong	:8,8 ton
Berat <i>dump truck</i> bermuatan	:25,8 ton
<i>Rolling Resistance</i>	:65 lb/ton (jalan terpelihara)
Rimpull percepatan	:20 lb/ton
<i>Grade Resistance</i>	:20 lb/ton/% <i>grade</i>
<i>Horse Power</i> Alat Angkut	:215
Efisiensi mekanis	:87%

Rimpull yang tersedia untuk masing-masing gigi dapat dihitung menggunakan persamaan berikut^[13,14]:

$$\begin{aligned} \text{Rimpull} &= \frac{\text{HP} \times 375 \times \text{Efisiensi Mekanis}}{\text{Kecepatan}} \quad (8) \\ &= \frac{215 \text{ lb} \cdot \text{mmph} \times 375 \times 87\%}{6,11 \text{ mph}} \\ &= 7075,978 \text{ lb} \end{aligned}$$

Rimpull yang tersedia untuk masing-masing *gear* dapat dilihat pada tabel 6 berikut:

Tabel 6. *Rimpull* yang Tersedia

Gear	Kecepatan (mph)	HP	Eff. Mekanis	<i>Rimpull</i> (lb)
1	9,91	215	0,87	7075,978
2	14,22	215	0,87	4931,912
3	19,13	215	0,87	3666,745
4	26,27	215	0,87	2670,286
5	35,30	215	0,87	1987,32
6	50,52	215	0,87	1388,325
7	67,73	215	0,87	1035,646
8	87,62	215	0,87	800,526
9	125,30	215	0,87	559,8084

4.2.1 Nilai *Rolling Resistance*

Rolling resistance merupakan besarnya putaran roda untuk menggerakkan alat angkut^[15]. Setelah perbaikan jalan yang ditandai dengan permukaan jalan angkut produksi terpelihara, lebar jalan memenuhi syarat lebar minimal jalan angkut, *drainase* berfungsi dengan baik dan dilakukan *maintenance* jalan secara intensif sehingga harga *rolling resistance*-nya diasumsikan sebesar 65 lb/ton, yaitu kriteria jalan keras dengan permukaan yang terpelihara baik. Karena setiap alat yang mengalami percepatan akan mendapatkan *rolling resistance* tambahan sebesar 20 lb/ton, sehingga untuk kondisi setelah perbaikan jalan, *rolling resistance* totalnya adalah 65 lb/ton ditambah 20 lb/ton yaitu 85 lb/ton.

4.2.2 Nilai *Grade Resistance*

Untuk menentukan nilai setelah perbaikan jalan, maka digunakan kemiringan jalan yang sudah sesuai dengan

standar, yaitu 8 %. Harga *grade resistance* yaitu 20 lb/ton untuk setiap persen kemiringannya

4.2.3 Perhitungan *Rimpull* dan Waktu Tempuh Alat Angkut dalam Keadaan Kosong

Perhitungan *rimpull* untuk *rolling resistance* (RR) dan percepatan (a) yaitu:

$$\begin{aligned} \text{Segmen SP-A} &= \text{Berat Kosong} \times (\text{RR} + a) \\ &= 8,8 \text{ ton} \times (65 \text{ lb/ton} + 20 \text{ lb/ton}) \\ &= 748 \text{ lb} \end{aligned}$$

Perhitungan *rimpull* untuk *grade resistance* yaitu :

$$\begin{aligned} \text{Segman SP-A} &= \text{Berat Kosong} \times \text{GR} \\ &= 8,8 \text{ ton} \times 20 \text{ lb/ton} \% \times 8\% \\ &= 1408 \text{ lb} \end{aligned}$$

Jadi, total *rimpull* adalah 748 lb + 1408 lb = 2156 lb. *Gear* yang sesuai untuk *rimpull* tersebut adalah gear 4. Kecepatan *gear* 4 adalah 16,20 km/jam dan jarak 0,03291 km, maka waktu tempuh segmen SP-A adalah 7,31 detik. Perhitungan *rimpull* dan waktu tempuh alat angkut per masing-masing segmen dalam keadaan kosong dapat dilihat pada tabel 7 berikut:

Tabel 7. Analisis *Rimpull* Alat Angkut dari *Crusher* ke *Bench 3* (Keadaan Kosong)

No.	Segmen Jalan	Panjang		Keterangan	Grade Jalan (%)	RP untuk RR dan a (lb)	RP untuk GR (lb)	Total Rimpull (lb)	Gear	Kecepatan (km/jam)	Waktu	
		m	km								Jam	Detik
1	DP-J	32,91	0,03291	Lurus	8,00	748	1408	2156	4	16,20	0,002031	7,312766
2	J-I	44,80	0,0448	Lurus	5,24	748	922,3769	1670,377	5	21,77	0,002058	7,408696
3	I-H	38,71	0,03871	Lurus	3,49	748	614,6055	1362,606	6	31,16	0,001242	4,472087
4	H-G	38,12	0,03812	Tikungan	5,24	748	922,3769	1670,377	5	21,77	0,001751	6,304006
5	G-F	48,80	0,0488	Lurus	8,00	748	1408	2156	4	16,20	0,003012	10,8436
6	F-E	42,10	0,0421	Lurus	8,00	748	1408	2156	4	16,20	0,002599	9,354829
7	E-D	20,74	0,02074	Tikungan	8,00	748	1408	2156	4	16,20	0,00128	4,608531
8	D-C	34,16	0,03416	Tikungan	8,00	748	1408	2156	4	16,20	0,002108	7,590522
9	C-B	60,40	0,0604	Lurus	3,49	748	614,6055	1362,606	6	31,16	0,001938	6,978888
10	B-A	24,10	0,0241	Lurus	8,00	748	1408	2156	4	16,20	0,001488	5,35514
11	A-I-P	14,64	0,01464	Lurus	8,00	748	1408	2156	4	16,20	0,000904	3,253081
Cycle Time											73,48115	1,22

Jadi, berdasarkan analisis *rimpull* untuk alat angkut *dump truck* Mitsubishi Fuso 220 PS didapatkan estimasi waktu tempuh dari *crusher* ke *bench 3* dalam keadaan kosong selama 1,22 menit.

4.2.4 Perhitungan *Rimpull* dan Waktu Tempuh Alat Angkut dalam Keadaan Bermuatan

Perhitungan *rimpull* untuk *rolling resistance* (RR) dan percepatan (a) yaitu :

$$\begin{aligned} \text{Segmen H-I} &= \text{Berat Total} \times (\text{RR} + a) \\ &= 25,8 \text{ ton} \times (65 \text{ lb/ton} + 20 \text{ lb/ton}) \\ &= 2193 \text{ lb} \end{aligned}$$

Perhitungan *rimpull* untuk *grade resistance* yaitu :

$$\begin{aligned} \text{Segman H-I} &= \text{Berat Total} \times \text{GR} \\ &= 25,8 \text{ ton} \times 20 \text{ lb/ton} \% \times (-8\%) \\ &= -4128 \text{ lb} \end{aligned}$$

Jadi, total *rimpull* adalah 2193 lb + (-4128 lb) = -1935 lb. *Gear* yang cocok untuk *rimpull* tersebut adalah *gear*

8. Kecepatan gear 8 adalah 54,04 km/jam dan jarak 0,014664 km, maka waktu tempuh segmen LP-O adalah 0,975 detik.

Perhitungan rimpull dan waktu tempuh alat angkut per masing-masing segmen dalam keadaan bermuatan dapat dilihat pada tabel 8 berikut:

Tabel 8. Analisis Rimpull Alat Angkut dari Bench 3 ke Crusher (Keadaan Bermuatan)

No.	Segmen Jalan	Panjang		Keterangan	Grade Jalan (%)	MUATAN			Gear	Kecepatan (km/jam)	Waktu	
		m	km			RP untuk RR dan a (lb)	RP untuk GR (lb)	Total Rimpull (lb)			Jam	Detik
1	LP-A	14,64	0,01464	lurus	-8,00	2193	-4128	-1935	8	54,04	0,000271	0,975242
2	A-B	24,10	0,0241	lurus	-8,00	2193	-1408	785	8	54,04	0,000446	1,605419
3	B-C	60,40	0,0604	lurus	-3,49	2193	-614,606	1578,394	5	21,77	0,002775	9,988509
4	C-D	54,90	0,0549	Tikungan	-8,00	2193	-1408	785	8	54,04	0,001016	3,657158
5	D-E	90,90	0,0909	Tikungan	-8,00	2193	-1408	785	8	21,77	0,004176	15,03238
6	E-F	38,12	0,03812	lurus	-8,00	2193	-1408	785	8	21,77	0,001751	6,304006
7	F-G	38,71	0,03871	lurus	-8,00	2193	-1408	785	8	21,77	0,001778	6,401576
8	G-H	77,70	0,0777	Tikungan	-5,24	2193	-922,377	1270,623	6	31,16	0,002493	8,976522
9	H-I	38,60	0,0386	lurus	-3,49	2193	-614,606	1578,394	5	21,77	0,001773	6,383385
10	I-J	23,20	0,0232	lurus	-5,24	2193	-922,377	1270,623	6	31,16	0,000745	2,680248
11	J-DP	28,04	0,02804	lurus	-8,00	2193	-1408	785	8	54,04	0,000519	1,867882
Cycle Time											63,87232	1,06

Jadi, berdasarkan analisis rimpull untuk alat angkut dump truck Mitsubishi Fuso 220 PS didapatkan estimasi waktu tempuh dari bench 3 ke crusher dalam keadaan bermuatan selama 1,06 menit.

4.3. Produktivitas Aktual Alat Angkut

Perhitungan produksi aktual berdasarkan pada pengamatan cycle time dan efisiensi kerja alat angkut di lapangan. Cycle time aktual alat angkut dump truck Mitsubishi Fuso 220 PS dapat dilihat pada tabel 9 berikut:

Tabel 9. Cycle Time Aktual Mitsubishi Fuso 220 PS

Waktu Tetap (Menit)				Waktu Travel (Menit)		Cycle Time (Menit)
Loading	Manuver Dumping	Dumping	Manuver Loading	Kosong	Isi	
1,51	0,86	0,55	0,56	2,89	3,02	9,39

Alat angkut dump truck Mitsubishi Fuso 220 PS yang beroperasi untuk pengangkutan andesit dari bench 3 menuju crusher berjumlah 3 unit. Pada tabel 11 berikut adalah perhitungan produksi alat angkut aktual Mitsubishi Fuso 220 PS dengan excavator Hitachi ZX-350H. Produktivitas alat angkut dapat dihitung dengan persamaan berikut^[16]:

$$P = \frac{C \times 60 \times Et}{Cmt} \times M \quad (9)$$

$$C = n \times q1 \times K$$

Tabel 10. Produktivitas Alat Angkut Aktual

Kapasitas Bucket	q1	2	m3
Bucket Fill Factor	K	0,6	
Jumlah pengisian	N	5	
Effisiensi Kerja	Ek	0,6247	
Cycle Time	CT	9,39	menit
Density Loose		1,4	ton/m3
Jam Kerja Efektif		5,62	Jam
Jumlah DT		3	Unit
Produktivitas	Q	23,95	m3/jam
		33,53	ton/jam
		188,44	ton/hari
		565,32	ton/hari/3 unit
		16.965,6	ton/bulan

Berdasarkan perhitungan, produktivitas dump truck Mitsubishi 220 PS aktual sebesar 16.965,6 ton/bulan. Sedangkan target produksi sebesar 30.000 ton perbulan. Oleh karena itu perlu dilakukan evaluasi mengenai ketidaktercapaian target produksi ini.

4.4. Produktivitas Teoritis Alat Angkut Setelah Perbaikan Geometri Jalan

Simulasi perbaikan kondisi jalan digunakan untuk memperkirakan produksi teoritis dari alat angkut. Dari hasil perhitungan analisis rimpull pada tabel 7 dan tabel 8 diperoleh waktu tempuh total setelah perbaikan jalan. Maka diperoleh estimasi cycle time teoritis alat angkut setelah perbaikan jalan pada tabel 11 berikut:

Tabel 11. Estimasi Cycle Time teoritis Setelah Perbaikan Geometri Jalan

Loading	Waktu Tetap (Menit)			Waktu Travel		Cycle Time (Menit)
	Manuver Dumping	Dumping	Manuver Loading	Kosong	Isi	
1,51	0,86	0,55	0,56	1,22	1,06	5,771

Berdasarkan estimasi cycle time teoritis dengan geometri jalan ideal, maka perhitungan estimasi produktivitas dump truck Mitsubishi Fuso 220 PS dapat dilihat pada tabel 12 berikut:

Tabel 12. Estimasi Produksi Alat Angkut Setelah Perbaikan Geometri Jalan

Produktivitas Teoritis <i>Dump Truck</i> setelah Perbaikan			
Kapasitas Bucket	q1	2	m3
<i>Bucket Fill Factor</i>	K	0,6	
Jumlah pengisian	N	5	
Effisiensi Kerja	Ek	0,6247	%
<i>Cycle Time</i>	CT	5,771	Menit
<i>Density Loose</i>		1,4	ton/m3
Jam Kerja Efektif		5,62	Jam
Jumlah DT		3	Unit
Produktivitas	Q	38,97	m3/jam
		54,55	ton/jam
		306,6	ton/hari
		919,8	ton/hari/3 unit
		27.593,89	ton/bulan

Berdasarkan perhitungan, produktivitas *dump truck* Mitsubishi 220 PS setelah perbaikan geometri jalan adalah sebesar 27.593,89 ton/bulan. Sedangkan target produksi sebesar 30.000 ton perbulan, dapat disimpulkan bahwa produksi belum memenuhi target sehingga perlu dilakukannya evaluasi mengenai ketidaktercapaian target produksi.

4.5. Perbaikan Efisiensi Kerja

Perbaikan waktu hambatan dilakukan dengan penekanan terhadap waktu hilang (*lost time*) sehingga waktu kerja efektif bisa meningkat. Perbaikan yang dilakukan difokuskan pada waktu hambatan yang dapat dihindari. Perbaikan waktu hambatan bisa dilihat pada tabel 13 berikut:

Tabel 13. Efisiensi Kerja Setelah Perbaikan

Waktu Hambatan	Aktual (menit)	Perbaikan (menit)
Waktu tersedia	540	540
Waktu hambatan yang dapat dihindari	155,4	114,6
Waktu Hambatan yang tidak dapat dihindari	47,4	47,4
Waktu Kerja Efektif	337,2	378

$$\begin{aligned}
 \text{Efisiensi Kerja} &= \frac{\text{Waktu Kerja Efektif}}{\text{waktu Kerja Terjadwal}} \times 100\% \\
 &= \frac{6,3 \text{ jam}}{9 \text{ jam}} \times 100\% \\
 &= 70\%
 \end{aligned}$$

Perbaikan waktu hambatan yang dilakukan dengan meminimalkan waktu terlambat memulai kerja dipagi hari, istirahat sebelum waktunya, terlambat setelah istirahat, dan berhenti sebelum akhir kerja dengan cara mengawasi dan mengontrol langsung kegiatan yang dilakukan pekerja saat di *front* penambangan maupun di

crusher, apabila perbaikan waktu hambatan dapat dilakukan seperti perkiraan tabel 13, maka jam kerja efektif menjadi 378 menit atau 6,3 jam dengan efisiensi kerja 70%.

4.6. Perbaikan Efisiensi Kerja

Setelah dilakukan perbaikan efisiensi kerja alat angkut *dump truck* Mitsubishi Fuso 220 PS ditandai dengan pengurangan waktu hambatan yang dapat dihindari. Maka produktivitas alat angkut dapat dilihat pada tabel 14 sebagai berikut:

Tabel 14. Produktivitas Alat Angkut Setelah Perbaikan Efisiensi Kerja

Produktivitas Teoritis <i>Dump Truck</i> setelah Perbaikan			
Kapasitas Bucket	q1	2	m3
<i>Bucket Fill Factor</i>	K	0,6	
Jumlah pengisian	N	5	
Effisiensi Kerja	Ek	0,7	%
<i>Cycle Time</i>	CT	5,771	Menit
<i>Density Loose</i>		1,4	ton/m3
Jam Kerja Efektif		6,3	Jam
Jumlah DT		3	Unit
Produktivitas	Q	43,67	m3/jam
		61,138	ton/jam
		385,17	ton/hari
		1.146,51	ton/hari/3 unit
		34.395,3	ton/bulan

Dari perhitungan di atas diperoleh nilai produktivitas alat angkut sebesar 34.395,3 ton per bulan. Nilai ini menunjukkan bahwa target produksi sudah mencapai target.

5. Kesimpulan dan Saran

5.1. Kesimpulan

1. Lebar jalan lurus secara teoritis lebar jalan lurus adalah 9 meter, Segmen LP-A dari 7,90 meter ditambah 1,10 meter, segmen A-B dari 6,40 meter ditambah 2,60 meter, segmen B-C dari 7,45 meter ditambah 1,55 meter, segmen E-F dari 6,37 meter ditambah 2,63 meter, segmen F-G dari 6,35 meter ditambah 2,65 meter, segmen H-I dari 7,30 meter ditambah 1,70 meter, dan segmen J-DP dari 6,57 meter ditambah 2,43 meter. Lebar jalan tikungan secara teoritis lebar jalan tikungan adalah 12 meter, jadi segmen C-D dari 6,20 meter ditambah 5,80 meter, dan segmen G-H dari 11,48 ditambah 0,52 meter. *Grade* jalan yang baik secara teoritis sebesar 8%, berdasarkan perhitungan aktual masih terdapat segmen jalan yang memiliki grade di atas 8%. *Cross slope* secara teoritis dengan lebar jalan teoritis pada keadaan lurus sebesar 9 meter maka beda tinggi yang harus dibuat adalah sebesar 18 cm. *Superelevasi* yang harus dibuat untuk lebar tikungan 12 meter adalah 0,04 Sehingga beda tinggi antara sisi dalam dan sisi luar tikungan yang harus dibuat adalah 0,48 meter.

2. Produksi aktual *dump truck* Mitsubishi Fuso 220 PS dengan kondisi jalan sebelum perbaikan yaitu sebesar 16.965,6 ton/bulan dengan jumlah *dump truck* sebanyak 3 unit.
3. Produksi *dump truck* Mitsubishi Fuso 220 PS setelah dilakukan perbaikan geometri jalan yaitu sebesar 27.593,89 ton/bulan dengan jumlah *dump truck* sebanyak 3 unit.
4. *Match factor* aktual dilapangan sebelum perbaikan jalan adalah 0,544, diartikan bahwa adanya waktu tunggu pada alat gali muat. Sedangkan *match factor* setelah perbaikan jalan adalah $0,89 \approx 1$, yang artinya alat angkut dan alat gali muat serasi atau tidak terdapatnya waktu tunggu bagi kedua alat tersebut.
5. Setelah dilakukannya perbaikan waktu hambatan, efisiensi kerja alat angkut yang awalnya 62,44% berubah menjadi 70%. Perbaikan dilakukan dengan melakukan penekanan terhadap waktu hambatan yang dapat dihindari, maka estimasi produktivitas Mitsubishi Fuso 220 PS per unit sebesar 61,138 ton/jam, sedangkan untuk estimasi produksi keseluruhan Mitsubishi Fuso 220 PS per hari sebesar 1.146,51 ton/hari, dengan produksi per bulan sebesar 34.395,3 ton/bulan.

5.2. Saran

1. Perlu dilakukan penambahan lebar jalan sesuai dengan standar lebar jalan minimal dari perhitungan secara teoritis baik pada jalan lurus maupun jalan tikungan.
2. *Grade* jalan angkut yang > 8% perlu dilakukan penurunan *grade* jalan tersebut guna memudahkan alat angkut dapat beroperasi dengan kecepatan yang optimal ketika mengatasi tanjakan dan turunan.
3. Perlunya pembuatan dan perawatan *cross slope* pada jalan angkut agar air hujan dapat mengalir ke saluran drainase jalan.
4. Sebaiknya dilakukan perawatan terhadap saluran drainase jalan angkut agar air hujan tidak mengenai jalan yang menyebabkan permukaan jalan terkikis oleh air.
5. Jam kerja sebaiknya lebih dimaksimalkan, seperti waktu *delay* saat memulai pekerjaan, *delay* setelah istirahat, dan lain-lain dapat dikurangi sehingga jam kerja efektif dapat meningkat dan produksi dapat meningkat pula.

Daftar Pustaka

- [1] Sugiyono. *Metodologi Penelitian Kuantitatif, Kualitatif, dan R & D*. Jakarta: Alfabeta. (2017).
- [2] A. Muri Yusuf. *Metodologi Penelitian*. Padang: UNP Press. (2013).
- [3] Awang, Suwandhi. *Perencanaan Jalan Tambang. Diklat Perencanaan Tambang Terbuka*. (2004).
- [4] Ady, Winarko, Djuki Sudarmono, M. Akib Abro. *Evaluasi Teknis Geometri Jalan Angkut Overburden untuk Mencapai Target Produksi 240.000 BCM/Bulan di Site Project Mas Lahat PT. Ulina Nitra Sumatera Selatan*. Jurusan Teknik Pertambangan Fakultas Teknik Universitas Sriwiaya. **1**, 1 (2014).
- [5] Aldiansyah, Jamal Rauf Husain, Arif Nurwaskito. *Analisis Geometri Jalan di Tambang Utara pada PT. Ifishdeco Kecamatan Tinanggea Kabupaten Konawe Selatan Provinsi Sulawesi Tenggara*. Jurnal Geomine. **4**, 1 (2015).
- [6] Anton, Asri Demara, Dono Guntoro, A. Machali Muchsin. *Evaluasi Jalan Angkut dari Kilometer 21+400 Meter sampai dengan Kilometer 24+400 Meter pada Peambangan Nikel di PT. Bintangdelapan Mineral, Desa Fatufia, Kecamatan Bahodpi, Kabupaten Morowali, Provinsi Sulawesi Tengah*. Prodi Teknik Pertambangan Fakultas Teknik Universitas Islam Bandung. Prosiding Teknik Pertambangan (2017).
- [7] Kurniawan, Nur Pratomo, Dono Guntoro, Dudi Nasrudin Usman. *Evaluasi Jalan Angkut dari Front Tambang Andesit ke Crusher II pada Penambangan Batu Andesit di PT. Gunung Kecapi, Kabupaten Purwakarta, Provinsi Jawa*. Prodi Teknik Pertambangan Fakultas Teknik Universitas Islam Bandung. Prosiding Teknik Pertambangan (2016).
- [8] Akhmad, Rifandy, Ryan Muhammad Noor. *Evaluasi Geometri Jalan Tambang (Ramp) pada Kegiatan Pengupasan Tanah Penutup di Pit Seam 12 PT. Kitadin Job Site Embalut Kecamatan Tenggarong Seberang Kabupaten Kutai Kartanegara*. Program Studi Teknik Pertambangan Fakultas Teknik Universitas Kutai Kartanegara. Jurnal Geologi Pertambangan. **2**, 1 (2015).
- [9] M. Tasrik Hi. Malik, Maryanto, Yuliadi. *Evaluasi Geometri Jalan Angkut dari Lokasi Pengupasan Overburden ke Disposasi pada Sektor Penambangan Bijih Besi Blok 2D di PT. Adidaya Tangguh, Desa Tolong, Kecamatan Lede, Kabupaten Taliabu, Maluku Utara*. Prodi Teknik Pertambangan Fakultas Teknik Universitas Islam Bandung. Prosiding Teknik Pertambangan (2017).
- [10] Kaufman, Walter W and James C.Ault. *Design of Surface Mine Haulage Roads-A Manual*. Washington: United States Department of The Interior Bureau of Mines. (1977).
- [11] Uyu, Saismana, Raf'an Hidayatullah, Andi Fadly. *Evaluasi Kondisi Jalan Angkut Overburden Pit 1 Blok 15 PT. Rimau Energy Mining Site Putut Tawuluh Kecamatan Karosen Janang*. Program Studi Teknik Pertambangan Fakultas Teknik Universitas Lambung Mangkurat. Jurnal HIMASAPTA. **3**, 1 (2018).
- [12] Thoni, Riyanto, Agus Triantoro, Riswan, Yosua Dinata Olla. *Evaluasi Jalan Tambang Berdasarkan Geometri dan Daya Dukung pada Lapisan Tanah Dasar Pit Tutupan Area Highwall*. Program Studi Teknik Pertambangan Fakultas Teknik Universitas Lambung Mangkurat. Jurnal HIMASAPTA. **1**, 2 (2016).
- [13] Partanto, Prodjosumarto. *Pemindahan Tanah Mekanis*. Jurusan Teknik Pertambangan Institut Teknologi Bandung. Bandung. (1996).

- [14] Rudy, Azwari. *Evaluasi Jalan Angkut dari Front Tambang Batubara menuju Stockpile Block B pada Penambangan Batubara di PT. Minemex Indonesia, Desa Talang Serdang Kecamatan Mandiangin Kabupaten Sarolangun Provinsi Jambi*. Prodi Teknik Pertambangan Fakultas Teknik Universitas Islam Bandung. Prosiding Teknik Pertambangan (2015).
- [15] Akhmad, Rifandy, Hefni. *Kajian Geometri Jalan Hauling pada PT. Guruh Putra Bersama Site Desa Gunung Sari KEcamatan Tabang KABupaten Kutai Kartanegara*. Program Studi Teknik Geologi Fakultas Teknik Universitas Kutai Kartanegara. *Jurnal Geologi Pertambangan*. **1**, 1 (2016).
- [16] Rochmanhadi. *Perhitungan Biaya Pelaksanaan Pekerjaan dengan Menggunakan Alat-Alat Berat*. Jakarta: Departemen Pekerjaan Umum Badan Penerbit Pekerjaan Umum.(1985).