

# Evaluasi Pengaruh Geometri Jalan Angkut Batukapur Terhadap Produksi di Area 242 Bukit Tajarang PT. SEMEN PADANG.

Wahyu Rijal Waskito Putra<sup>1\*</sup> and Yoszi Mingsi Anaperta<sup>1\*\*</sup>

<sup>1</sup>Jurusan Teknik Pertambangan, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Padang

\*wahyurijal1195@gmail.com

\*\*yosziperta@yahoo.co.id

**Abstract.** PT. Semen Padang as a pioneer of the cement industry in Indonesia since 1910 and one of the largest producers for the Sumatra region is trying to increase its production. PT. Semen Padang uses a series of excavators backhoe and dump trucks to move material from the loading point to the Crusher. One of the mining activities affecting production is hauling operations. Factors that can affect transportation activities are the geometry of the haul road. High road grade results in a loaded conveyance which cannot run at optimal speed while a narrow width of the haul road will result in the opposite direction of conveyance which will prioritize one of the conveyances for the road first, this will cause the conveyance distribution time to be longer while loading. The condition of the mining road at PT. Semen Padang is not in accordance with AASHTO standards. There are slopes that are not up to standard as many as 14 segments with a value of 12.96% and 15.19% while according to AASHTO the suitable cross slope is 8% -10%. The researcher will re-evaluate the geometry of the PT Semen Padang mine road and assess the Total Resistance.

**Keyword:** Geometry, Slope, PT. Semen Padang, Production, Grade.

## 1. Pendahuluan

Indonesia merupakan negara kepulauan yang kaya akan sumber daya mineral yang bila dapat dimanfaatkan dengan baik akan menjadi sumbangan besar bagi Indonesia mulai dari pendapatan ekspor, pembangunan daerah, peningkatan aktivitas ekonomi, pembukaan lapangan kerja, dan pemasukan terhadap anggaran daerah maupun pusat.

Seiring dengan meningkatnya pembangunan infrastruktur di Indonesia, PT. Semen Padang (Persero) Tbk sebagai pelopor industri semen di Indonesia sejak tahun 1910 dan salah satu produsen terbesar untuk daerah Sumatera berusaha untuk meningkatkan produksinya. Dan salah satu ukuran penting untuk meningkatkan kinerja perusahaan adalah produktivitas.

Penambangan Limestone dilakukan pada bukit karang putih, dimana penambangan Limestone dilakukan dengan cara tambang terbuka (Quarry). Tambang Quarry PT. Semen Padang dilakukan dengan cara Type Side Hill Quarry yaitu suatu sistem penambangan terbuka yang ditetapkan untuk menambang batuan atau endapan mineral industry yang terletak di lereng bukit. PT. Semen Padang memiliki luas cadangan Limestone 0,972 km<sup>2</sup> dan ketebalan

berkisar 100–300m dengan taksiran cadangan sebesar 438.480.300 ton. Biro penambangan pada saat ini melakukan kegiatan Quarry dengan rincian kerja berupa profiling (penandaan titik bor), drilling

(pemboran), blasting (peledakan), loading (pemuatan), hauling (pengangkutan), dumping (penumpahan), crushing(peremukan), dan conveying (pemindahan).

Dalam kegiatan penambangan Batukapur PT. Semen Padang menggunakan rangkaian kerja alat gali-muat (excavator backhoe) dan alat angkut (dump truck) untuk memindahkan material dari loading point ke Crusher. Kapasitas produksi pabrik secara keseluruhan adalah sebesar 9.4 juta pada tahun 2018. Target produksi batugamping pada area Existing pada bulan Februari adalah 998.220 ton/bulan. Sedangkan realisasinya dilapangan adalah sebesar 304.813. ini jelas kurang dari apa yang telah di targetkan oleh perusahaan PT. Semen Padang pada bulan april 2019. Salah satu kegiatan penambangan yang mempengaruhi produksi adalah operasi pengangkutan (hauling). Faktor yang dapat mempengaruhi kegiatan pengangkutan adalah kondisi geometri jalan angkut tersebut. Geometri jalan angkut yang baik akan meningkatkan efektivitas kerja alat angkut. Jalan angkut yang memiliki grade jalan yang tinggi dan lebar jalan yang tidak ideal akan menyebabkan alat angkut tidak beroperasi secara optimal. Grade jalan yang tinggi mengakibatkan alat angkut yang bermuatan tidak dapat melaju dengan kecepatan optimal sedangkan lebar jalan angkut yang sempit akan mengakibatkan alat angkut yang berlawanan arah akan memprioritaskan salah satu alat angkut untuk jalan terlebih dahulu, hal tersebut akan

menyebabkan waktu edar alat angkut akan semakin lama sedangkan alat muat bekerja tidak maksimal karena menunggu alat angkut untuk kembali mengisi muatan, akibatnya target produksi Batukapur tidak tercapai.

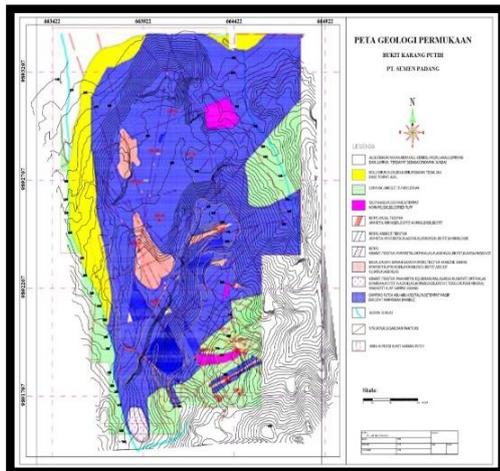
Keadaan jalan tambang di PT Semen Padang belum sesuai dengan standar AASHTO<sup>[1]</sup>. Terdapat kemiringan yang tidak sesuai standar sebanyak 14 segmen dengan nilai 12,96% dan 15,19% sedangkan menurut AASHTO standar kemiringan jalan yang sesuai adalah 8%-10%. Front Penambangan area 242 memiliki 14 segmen dengan nilai kemiringan jalan lebih dari 10%. Peneliti akan mengevaluasi kembali geometri jalan tambang PT Semen Padang dan mengkaji Total Resistance.

Berdasarkan permasalahan tersebut maka perlu dilakukan evaluasi terhadap kondisi geometri jalan angkut, maka penulis mengangkat sebuah studi kasus dengan judul “Evaluasi Pengaruh Geometri Jalan Angkut Batukapur Terhadap Produksi di Area 242 Bukit Tajarang PT. SEMEN PADANG”

## 2. Tinjauan Pustaka

### 2.1 Lokasi Penelitian

Lokasi penelitian di PT. Semen Padang.



Gambar 1. Peta Geologi PT. Semen Padang



Gambar 2. Peta Kesempaan Daerah

### 2.2 Kegiatan Penambangan

Kegiatan penambangan yang diterapkan adalah dengan sistem tambang terbuka biasanya tipe ini diterapkan untuk endapan material yang mempunyai lapisan tebal dan dilakukan dengan membuat jenjang (bench)<sup>[2]</sup>. Dalam kegiatan penambangan Batukapur, kegiatan Loading dan Hauling merupakan kegiatan yang tidak bisa diabaikan. Hal ini berkaitan erat dengan tingkat kesuksesan suatu perusahaan untuk memenuhi target produksi yang telah di rencanakan. Dengan kata lain, semakin baik rencana produksi yang dilakukan oleh suatu perusahaan, maka akan semakin baik dan semakin lancar pula kegiatan tersebut berlangsung. Hal ini berkaitan erat dengan biaya yang akan dikeluarkan oleh perusahaan untuk memperoleh Batukapur.

Segala macam pekerjaan yang berhubungan dengan kegiatan penggalian (digging, breaking, loosening), pemuatan (loading), pengangkutan (hauling, transporting), penimbunan (dumping, illing), perataan (spreading, levelling) dan pemadatan (compacting) tanah atau batuan dengan alat-alat mekanis (alat-alat besar) disebut pemindahan tanah mekanis.

Untuk pemindahan tanah mekanis, biasa digunakan alat-alat mekanis yang sesuai dengan kemampuan kerja alat-alat mekanis tersebut tetapi akan dibebankan kepada penggunaannya untuk pekerjaan-pekerjaan yang berhubungan dengan tambang terbuka.

Selain itu penggunaan peralatan mekanis disesuaikan dengan komponen lapangan kerja. Komponen lapangan kerja yang perlu diperhatikan, yaitu<sup>[3]</sup>:

- Jalan-jalan dan sarana pengangkutan yang ada
- Tumbuh-tumbuhan
- Macam material dan perubahan volumenya
- Daya dukung material
- Iklm
- Ketinggian dari permukaan air laut
- Kemiringan, jarak dan keadaan jalan.
- Effisiensi kerja
- Syarat-syarat penyelesaian pekerjaan
- Syarat-syarat penimbunan
- Waktu
- Ongkos-ongkos produksi

### 2.3 Geometri Jalan Angkut

Ada beberapa parameter dalam rancangan teknis jalan angkut yaitu konstruksi jalan angkut dan geometri jalan angkut. Dalam suatu rancangan jalan angkut baik konstruksi maupun geometri disesuaikan dengan kapasitas (berat dan daya) alat angkut yang akan digunakan. Lebar jalan dipengaruhi jumlah jalur dan lebar alat angkut yang digunakan, rancangan tikungan dipengaruhi oleh sifat membelok alat angkut sedangkan kelandaian jalan (grade) akan dipengaruhi oleh daya alat angkut itu sendiri. Dengan rancangan teknis jalan angkut yang sesuai dengan karakteristik alat angkut, maka diharapkan fungsi dan umur jalan dapat maksimum. Selain dari kapasitas alat yang

bervariasi, kecepatan alat angkut juga mempunyai pengaruh didalam rancangan teknis yaitu pada tikungan dan jarak pandang. Kecepatan rencana yang dipilih merupakan kecepatan tertinggi dimana alat angkut dapat berjalan dengan aman<sup>[4]</sup>

Dalam kenyataan sehari-hari, semakin lebar jalan angkut maka semakin aman dan lancar lalu lintas pengangkutan. Umumnya jalan angkut pada tambang dibuat untuk jalur tunggal dengan satu arah atau dua arah. Perhitungan lebar jalan angkut pada keadaan jalan lurus dan pada jalan tikungan didasarkan pada lebar kendaraan terbesar yang dioperasikan. Semakin lebar jalan angkut maka operasi pengangkutan akan semakin lancar dan aman. Lebar jalan angkut pada jalan lurus mempertimbangkan jumlah jalur angkut dan lebar alat angkut tersebut<sup>[5]</sup>.

**2.3.1 Lebar Jalan Angkut**

Penentuan lebar jalan angkut minimum untuk jalan lurus didasarkan pada “rule of thumb” yang dikemukakan “Aashto Manual Rural Highway Design”, yaitu bahwa jumlah jalur dikalikan dengan lebar alat angkut dump truck ditambah setengah lebar dump truck untuk masing-masing tepi kiri, kanan dan jarak antara dua dump truck yang sedang bersilangan.

Persamaan yang digunakan untuk menentukan lebar minimum jalan angkut pada kondisi lurus adalah:

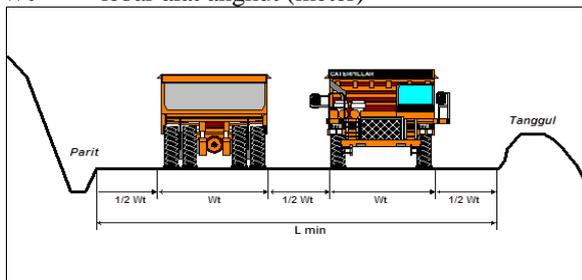
$$L_{min} = (n \times W_t) + (n+1) \times (1/2 W_t) \tag{1}$$

di mana:

L = lebar minimum jalan angkut pada kondisi lurus (meter)

n = jumlah jalur

Wt = lebar alat angkut (meter)



**Gambar 3.** Lebar Jalan Angkut Dua Lajur pada Jalan Lurus

Lebar jalan angkut pada tikungan selalu dibuat lebih besar daripada jalan lurus. Hal ini dimaksudkan untuk mengantisipasi adanya penyimpangan lebar alat angkut yang disebabkan oleh sudut yang dibentuk oleh roda depan dengan badan truk saat melintasi tikungan. Untuk jalur ganda, lebar minimum jalan pada tikungan dihitung berdasarkan pada:

Lebar jejak roda

Lebar overhang (jantai atau tonjolan) alat angkut bagian depan dan belakang pada saat membelok.

Jarak antar-alat angkut saat bersimpangan.

Jarak alat angkut terhadap tepi jalan.

Adapun perhitungan untuk lebar jalan minimum pada belokan adalah sebagai berikut :

$$W_{min} = n \times (U + F_a + F_b + Z) + C \tag{2}$$

Keterangan :

W<sub>min</sub> : Lebar minimum jalan angkut pada tikungan (meter)

U : lebar jejak roda (meter)

F<sub>a</sub> : lebar jantai (overhang) depan (meter)

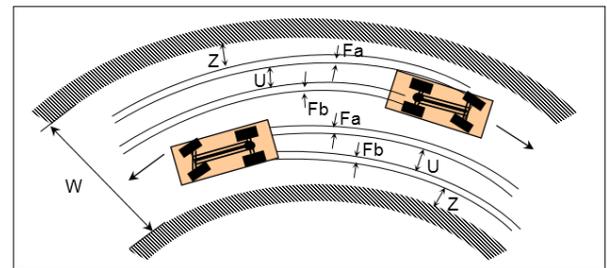
F<sub>b</sub> : lebar jantai belakang (meter)

Z : lebar bagian tepi jalan (meter)

$$= 1/2 (U + F_a + F_b) \tag{3}$$

C : jarak antara alat angkut saat berpapasan (meter)

$$= 1/2 (U + F_a + F_b) \tag{4}$$



**Gambar 4.** Lebar Jalan Angkut Dua Lajur pada Tikungan

**2.3.2 Lebar Jalan Angkut**

Yaitu pengukuran langsung di lapangan mengenai jari-jari tikungan pada jalan dan *superelevasi* pada tikungan menggunakan alat ukur manual berupa meteran dan dibantu dengan data sekunder yang peneliti peroleh dari peta topografi yang di *input* ke dalam *software* minescape dibantu dan data pengukuran dianalisa berdasarkan teori.

Jari- Jari-tikungan jalan angkut berhubungan dengan konstruksi alat angkut yang digunakan, khususnya jarak horizontal antara poros roda depan dan belakang. Dengan demikian jari-jari belokan dapat dihitung dengan rumus sebagai berikut,<sup>[6]</sup>:

$$R = \frac{w}{\sin \beta} \tag{5}$$

Di mana :

R = jari - jari belokan jalan angkut

w = jarak poros roda depan dan belakang

β = sudut penyimpangan roda depan,

Namun, rumus di atas merupakan perhitungan matematis untuk mendapatkan lengkungan belokan jalan tanpa mempertimbangkan faktor-faktor kecepatan alat angkut, gesekan roda bandengan permukaan jalan dan super elevasi. Bila dipertimbangkan, maka rumusnya menjadi :

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

Keterangan:

R = Jari-jari tikungan (m)

V = Kecepatan rencana kendaraan (Km/jam)

e = Angka *superelevasi*

f = *Friction factor*

**Tabel 1.** Jari-jari Tikungan Minimal

$V_R$ (km/ jam)	120	100	90	80	60	50	40	30	20
$R_{min}$ (m)	600	370	280	210	113	77	48	27	13

Superelevasi merupakan kemiringan jalan pada tikungan yang terbentuk oleh batas antara tepi jalan terluar dengan tepi jalan bagian dalam karena perbedaan ketinggian. Superelevasi berhubungan erat dengan jari-jari belokan, kecepatan kendaraan dan perubahan kecepatan. Hal tersebut bertujuan untuk memperoleh komponen berat kendaraan guna mengimbangi kendaraan tegelincir keluar jalur. Untuk menghitung besar nilai superelevasi, dapat menggunakan perhitungan berikut<sup>[7]</sup>.

$$e+f=V^2/(127 \times R) \tag{7}$$

Keterangan :

- e = Angka superelevasi
- f = Faktor gesekan (friction factor)
- V = Kecepatan rencana kendaraan (Km/jam)
- R = Jari-jari tikungan (m)

Kecepatan rencana yang biasa digunakan di daerah tikungan adalah 35 km/jam sedangkan superelevasi maksimum untuk kecepatan lebih besar dari 30 km/jam adalah 10% (menurut Silvia S dalam buku Dasar-dasar Perencanaan Geometrik Jalan). Sedangkan nilai f ditentukan berdasarkan kecepatan rencana, yaitu:

Untuk kecepatan rencana < 80 km/jam, maka:  
 $F = (-0,00065 \times V)+0,192 \tag{8}$

Untuk kecepatan rencana antara 80 – 112 km/jam, maka:  
 $F = (-0,00125 \times V)+0,24 \tag{9}$

**2.3.3 Grade (kemiringan) Jalan Angkut dan Grade Resistance**

Grade (kemiringan) jalan angkut dapat berupa jalan menanjak ataupun jalan menurun, yang disebabkan perbedaan ketinggian pada jalur jalan. Kemiringan jalan berhubungan langsung dengan kemampuan alat angkut, baik dalam pengereman maupun dalam mengatasi tanjakan. Kemampuan dalam mengatasi tanjakan untuk setiap alat angkut tidak sama, tergantung pada jenis alat angkut itu sendiri. Sudut kemiringan jalan biasanya dinyatakan dalam persen, yaitu beda tinggi setiap seratus satuan panjang jarak mendatar.

Grade resistance (tahanan kemiringan) ialah besarnya gaya berat yang melawan atau membantu gerak kendaraan karena kemiringan jalur jalan yang dilaluinya. Tahanan kemiringan tergantung dua faktor, yaitu:

Besarnya kemiringan, yang biasanya dinyatakan dalam persen. Berat kendaraan itu sendiri, yang dinyatakan dalam ton. Besarnya tahanan kemiringan rata-rata dinyatakan dalam 20 lbs dari rimpull untuk tiap gross ton berat kendaraan dan isinya pada kemiringan 1%.

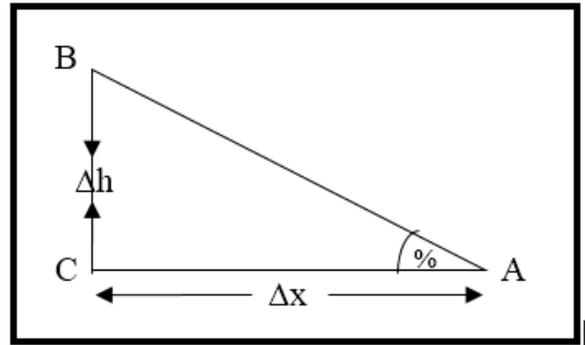
Grade jalan biasanya dinyatakan dalam persentase, dimana grade 1% merupakan kemiringan permukaan yang menanjak atau menurun 1 meter secara vertikal dalam jarak horizontal 100 meter. Grade dapat dihitung dengan menggunakan rumus sebagai berikut :

$$\text{Grade (\%)} = \Delta h / \Delta x \times 100\% \tag{10}$$

dimana:

$\Delta h$  = beda tinggi antara dua titik yang diukur (meter)

$\Delta x$  = jarak datar antara dua titik yang diukur (meter)



**Gambar 5.** Perhitungan Kemiringan Jalan

Menurut Bruce A. Kennedy, grade jalan optimum untuk dumptruck adalah antara 7 sampai 10%. Untuk jarak angkut yang dekat, grade-nya masih bisa ditoleransi hingga 15%. Khusus untuk tambang batubara, regulasi grade maksimumnya dibatasi hanya sampai 10% (untuk keadaan yang ideal).

**2.3.4 Cross Slope**

Cross slope adalah bentuk yang dibuat oleh dua sisi permukaan jalan terhadap bidang horizontal yang pada umumnya jalan angkut mempunyai bentuk penampang melintang cembung. Dibuat dengan demikian tujuannya untuk memperlancar penyaliran. Apabila turun hujan atau sebab lain, maka air yang ada dipermukaan jalan akan segera mengalir ke tepi jalan angkut, tidak berhenti atau menggenang pada permukaan jalan. Hal ini penting karna air menggenang pada permukaan jalan angkut akan membahayakan kendaraan yang lewat dan akan mempercepat kerusakan jalan<sup>[8]</sup>.

**2.3.5 Faktor-faktor yang Mempengaruhi Produksi**

Faktor-faktor yang mempengaruhi produksi dump truck diantaranya adalah korelasi cycle time alat gali-muat dan cycle time alat angkut, rolling resistance, grade resistance, coefficient of traction, rimpull, swell factor, dan density of material. Berikut penjelasan masing-masing faktor tersebut:

Korelasi cycle time alat gali-muat (excavator) dan alat angkut (dumptruck). Dumptruck yang merupakan alat utama kegiatan pengangkutan, sangat berperan dalam pencapaian target produksi pada

tambang terbuka yang menerapkan sistem excavator-dump truck. Selain itu, dump truck juga merupakan alat berat yang dapat disesuaikan dengan alat gali-muat yang melayaninya.

Cycle time (waktu edar) dump truck merupakan faktor yang sangat mempengaruhi produksi alat itu sendiri. Semakin kecil waktu edar, produksi alat tersebut semakin baik. Begitu juga sebaliknya. Waktu edar dump truck terdiri dari enam bagian yaitu, loading time (waktu isi), dumping time (waktu membongkar muatan), hauling time (waktu angkut), return time (waktu kembali dalam kondisi kosong), spotting time (waktu manuver di daerah penggalian ditambah dengan manuver di daerah dumping area), dan delay time (waktu tunggu sebelum diisi oleh alat gali-muat).

Sedangkan waktu edar alat gali-muat excavator adalah fill dipper (waktu yang dibutuhkan untuk mengisi bucket, waktu gali), swing (waktu manuver bucket menumpahkan material), return time (waktu kembali untuk mengisi bucket), serta delay time (waktu tunggu sebelum mengisi bak dump truck).

Rolling Resistance (tahanan gulir). Rolling resistance merupakan tahanan gelinding atau tahanan gulir yang terdapat pada roda yang sedang bergerak akibat adanya gaya gesek antara roda dengan permukaan tanah yang arahnya selalu berlawanan dengan arah gerak kendaraan.

Untuk menentukan besarnya rolling resistance digunakan percobaan sederhana menarik kendaraan dengan menggunakan tali penarik yang dilengkapi alat pengukur tegangan. Tegangan tali penarik P (lbs) dibagi dengan berat total kendaraan beserta muatannya B (ton) adalah besarnya nilai rolling resistance.

Menentukan nilai rolling resistance secara pasti adalah sangat sulit dilakukan, karena sebenarnya jenis dan tekanan ban serta kecepatan kendaraan ikut mempengaruhi harga rolling resistance. Jadi nilai rolling resistance ditentukan dalam persen berat, seperti terlihat pada tabel berikut:

**Tabel 2.** Harga Rolling Resistance

Jenis Permukaan Tanah/ Jalan	RR untuk Ban Karet (lb/ton)
Beton halus	40
Aspal keadaan baik	45-60
Tanah padat baik (jalan terpelihara)	45-70
Tanah tak terpelihara (kurang terpelihara)	85-100
Tanah becek berlubang	165-210
Pasir kerikil lepas	240-275

Tanah sangat jelek	290-370
--------------------	---------

Grade resistance (GR) adalah besarnya gaya berat yang melawan atau membantu gerak kendaraan karena kemiringan jalur jalan yang dilewati oleh kendaraan tersebut. Pengaruh kemiringan terhadap harga GR adalah naik untuk kemiringan positif (akan memperbesar rimpull) dan turun untuk kemiringan negatif (akan memperkecil rimpull). Besarnya GR tergantung pada kemiringan jalan (%) dan berat kendaraan tersebut (ton). Besarnya GR dinyatakan rata-rata 20 lb dari rimpull untuk setiap gross berat kendaraan beserta isinya pada setiap kemiringan 1%. Berikut ini adalah harga GR untuk tiap kemiringan jalan.

**Tabel 3.** Kemiringan dan Grade Resistance

Kemiringan (%)	GR (lb/ton)	Kemiringan (%)	GR (lb/ton)
1	20	11	218
2	40	12	238,4
3	60	13	257,8
4	80	14	277,4
5	100	15	296,6
6	119,8	20	392,3
7	139,8	25	485,2
8	159,2	30	574,7
9	179,2	35	660,6
10	199	40	742,8

Coefficient of traction (CT) adalah suatu faktor yang menunjukkan berapa bagian dari seluruh berat kendaraan itu pada ban atau track yang dapat dipakai untuk menarik atau mendorong kendaraan. Dengan kata lain coefficient of traction adalah suatu faktor di mana jumlah berat kendaraan pada ban/track penggerak harus dikalikan dengan permukaan jalan sebelum roda slip. Besarnya harga coefficient of traction tergantung pada:

- a. Keadaan ban atau track, yaitu keadaan dan bentuk kembangan ban.
- b..Keadaan jalan (basah/kering, keras/lunak, bergelombang/rata).
- c. Berat kendaraan yang diterima roda.

Besarnya harga coefficient of traction untuk macam-macam keadaan jalan dapat dilihat pada Tabel 4.

**Tabel 4.** Kondisi Jalan

Kondisi Jalan	Ban Karet (%)
Jalan kering dan keras	80 – 100
Jalan tanah liat kering	50 - 70
Jalan tanah liat basah	40 - 50
Jalan berpasir basah dan berkerikil	30 - 40
Jalan berpasir kering yang terpisah/terpencar	20 - 30

Rimpull (RP) merupakan besarnya kekuatan tarik yang dapat diberikan oleh mesin atau alat tersebut kepada permukaan roda atau ban penggerak yang menyentuh permukaan jalan angkut. Bila coefficient of traction cukup tinggi untuk menghindari selip, maka rimpull maksimum adalah fungsi dari horse power (tenaga mesin) dan versenelling (gear ratio) antara mesin dan roda-rodanya. Tetapi jika selip, maka RP maksimum akan sama dengan besarnya tenaga pada roda penggerak dikalikan coefficient of traction<sup>[9]</sup>. Besarnya rimpull ini dapat dihitung dengan persamaan berikut:

$$Rimpull = \frac{HP \text{ Kendaraan} \times 375 \times Efisiensi \text{ Mekanis}}{Kecepatan (mph)} \quad (11)$$

Acceleration merupakan waktu yang diperlukan untuk mempercepat kendaraan dengan rimpull yang tidak dipergunakan untuk menggerakkan kendaraan pada jalur tertentu. Lamanya waktu yang dibutuhkan untuk mempercepat kendaraan dipengaruhi oleh beberapa faktor, yaitu:

- a) Berat kendaraan, semakin berat kendaraan maka waktu yang dibutuhkan akan semakin lama untuk mempercepat kendaraan.
- b) Kelebihan rimpull, semakin banyak rimpull yang berlebih maka akan semakin cepat kendaraan dipercepat.
- c) Grade (kemiringan) jalan angkut yang dilalui.

Swell factor adalah faktor pengembangan material yang merupakan perbandingan antara volume material dalam keadaan insitu (belum digali, atau bank cubic meter, BCM) dan volume material dalam keadaan loose (telah digali, atau loose cubic meter, LCM). Besarnya swell factor dapat dihitung dengan persamaan berikut:

$$Swell \ factor = \frac{V_{insitu}}{V_{loose}} \times 100\% \quad (12)$$

Berat isi material yang digali, dimuat, dan diangkut oleh alat-alat mekanis akan mempengaruhi:

- a) Kecepatan kendaraan.

- b) Kemampuan kendaraan untuk mengatasi grade resistance dan rolling resistance.
- c) Volume material yang dapat diangkut.

**2.3.6 Produksi**

Kemampuan produksi alat angkut dapat digunakan untuk menilai kinerja dari alat angkut tersebut. Semakin baik tingkat penggunaan alat maka semakin besar produksi yang dihasilkan alat tersebut. Produksi alat angkut dapat dihitung dengan rumus berikut :

$$Q = \frac{q1 \times k \times n \times eff \times 60}{CT} \text{ menit} \quad (13)$$

Keterangan:

- Q : Produksi
- q1 : Kapasitas bucket
- k : Bucket fill factor
- n : jumlah pengisian
- eff : Efisiensi kerja
- CT : Cycle time

Untuk menda Untuk mendapatkan hubungan kerja yang serasi antara alat muat dan alat angkut maka produksi alat muat harus sesuai dengan produksi alat angkut. Faktor keserasian alat muat dan alat angkut didasarkan pada produksi alat muat dan produksi alat angkut, yang dinyatakan dalam Match Factor (MF).

Secara teoritis produksi alat muat haruslah sama dengan produksi alat angkut, sehingga perbandingan antara alat angkut dan alat muat mempunyai nilai untuk menghitung match factor (MF) dapat dirumuskan sebagai berikut :

$$MF = \frac{(Na \times CTm)}{(Nm \times CTa)} \quad (14)$$

Keterangan :

- MF : Match Factor
- Na : Jumlah alat angkut (unit)
- CTm : Waktu edar pemuatan (menit)
- Nm : Jumlah alat muat (unit)
- CTa : Waktu Edar alat angkut

Jika dari hasil perhitungan diperoleh :

$$MF < 1 \quad (15)$$

Berarti persentase kerja alat gali muat kurang dari 100%, sedangkan persentase kerja alat angkut 100%, sehingga terdapat waktu tunggu untuk alat gali muat.

$$MF = 1 \quad (16)$$

Berarti persentase kerja alat gali muat dan alat angkut maksimal 100% sehingga tidak terdapat waktu tunggu bagi kedua alat tersebut.

$$MF > 1 \quad (17)$$

Berarti persentase kerja alat angkut kurang dari 100%, sedangkan persentase kerja alat gali muat 100%, sehingga terdapat waktu tunggu bagi alat angkut.

**3. Metode Penelitian**

Jenis penelitian yang dilakukan adalah penelitian terapan (applied research) dengan melakukan eksperimen yaitu menggabungkan teori dan data lapangan untuk penyelesaian masalah. Data yang

akan ditampilkan pada tugas akhir ini adalah kuantitatif.

Menurut Sugiono menjelaskan bahwa penelitian kuantitatif adalah sebagai berikut : “Metode penelitian yang berlandaskan pada filsafat positivisme, digunakan untuk meneliti pada populasi atau sampel tertentu, pengumpulan data bersifat kuantitatif dengan tujuan untuk menguji hipotesis yang telah ditetapkan. Filsafat positivisme memandang realitas / gejala / fenomena itu dapat diklasifikasikan, relative tetap, konkrit, teramati, terukur, dan hubungan gejala bersifat sebab akibat”<sup>[10]</sup>.

## 4. Metode Penelitian

### 4.1 Evaluasi Geometri Jalan Angkut Aktual

Pengukuran jalan angkut tambang dilakukan dengan menggunakan pita ukur. Perhitungan standar dari lebar minimum jalan angkut yaitu berdasarkan lebar dari alat angkut. Dari 2 (dua) merk alat angkut yang digunakan, merk Komatsu HD785 memiliki lebar yang paling besar yaitu 6,885 m sedangkan Caterpillar 777D memiliki lebar 6,048 m. Lebar Komatsu HD785 akan digunakan sebagai acuan perhitungan lebar minimum jalan angkut lurus.

Komatsu HD785 lebih lebar dibandingkan dengan Caterpillar 777D. Maka, lebar Komatsu HD785 akan dijadikan acuan untuk menentukan standar lebar jalan angkut menurut AASHTO.

Untuk 1 jalur:

$$L_{min} = 1 \cdot 6,885 + (1 + 1) (0,5 \cdot 6,885) \\ = 13,77 \sim 14 \text{ m}$$

Untuk 2 jalur:

$$L_{min} = 2 \cdot 6,885 + (2 + 1) (0,5 \cdot 6,885) \\ = 24,09 \sim 24,10 \text{ m}$$

Berdasarkan perhitungan, didapat bahwa standar lebar minimum untuk jalan angkut lurus pada 1 (satu) jalur yaitu 14 m dan pada 2 (dua) jalur yaitu 24,1 m.

### 4.2 Evaluasi Lebar Jalan Angkut pada Tikungan

Berdasarkan standar perhitungan lebar minimum jalur tikungan menggunakan teori AASHTO didapat bahwa standar lebar minimum jalur angkut pada front penambangan 242 untuk jalur tikungan yaitu 24,88 m untuk 2 (dua) jalur

Untuk Komatsu HD785 diketahui :

$$\text{Jarak as roda depan ke bagian depan ( ad )} \\ = 2,1 \text{ m}$$

$$\text{Jarak as roda belakang ke bagian belakang ( ab )} \\ = 3,2 \text{ m}$$

$$\text{Sudut penyimpangan ( } \alpha \text{ )} \\ = 41^\circ$$

$$F_a = ad \times \sin \alpha \quad (18) \\ = 2,1 \times \sin 41^\circ \\ = 1,37 \text{ m}$$

$$F_b = ab \times \sin \alpha \quad (19) \\ = 3,2 \times \sin 41^\circ = 2,1 \text{ m}$$

$$U = 3,6 \text{ m}$$

$$C = Z = 0,5 ( U + F_a + F_b )$$

$$= 0,5 ( 3,6 + 1,37 + 2,1 ) = 3,54 \text{ m}$$

Lebar jalan angkut minimum pada tikungan adalah:

$$W_{min} = 2 ( 3,6 + 1,37 + 2,16 + 3,54 ) + 3,54 = 24,88 \\ \text{m ( lebar tikungan pada 2 jalur )}$$

### 4.3 Evaluasi Kemiringan (Grade) Jalan

Berdasarkan teori AASHTO diketahui bahwa nilai grade yang baik dilalui oleh angkut yaitu sebesar 10%.

$$\text{Grade (\%)} = \Delta h / \Delta x \times 100\% \quad (20)$$

Keterangan:

$\Delta h$  : Beda tinggi antara dua titik segmen yang diukur (m)

$\Delta x$  : Jarak datar antara dua titik segmen jalan diukur (m)

Di bawah ini dapat dilihat perhitungan dalam mencari nilai dari jarak horizontal pada tiap segmen.

Segmen A-B

$$\text{Grade (\%)} = 10 / 100,354 \times 100 \% = 9,96\%$$

Jadi, persen kemiringan pada segmen A-B yaitu 9,96%.

Segmen B-C

$$\text{Grade (\%)} = 11 / 109,076 \times 100 \% = 10,08\%$$

Jadi, persen kemiringan pada segmen B-C yaitu 10,08%.

Segmen C-D

$$\text{Grade (\%)} = 15 / 104,388 \times 100 \% = 14,37\%$$

### 4.4 Evaluasi Super-elevasi dan Jari-jari pada Tikungan

Secara umum superelevasi dan jari-jari pada tikungan dapat dihitung menggunakan persamaan berikut:

$$e + f = \frac{V^2}{127R} \quad (21)$$

Diketahui nilai kecepatan rata-rata pengangkutan dalam kondisi bermuatan yaitu 15 km/jam dan untuk kondisi tanpa muatan yaitu 25 km/jam. Nilai superelevasi yang direkomendasikan yaitu 4%. Berikut perhitungan jari-jari tikungan yang sesuai dengan standar AASHTO:

$$e + f = \frac{V^2}{127R} \quad (22)$$

$$f = -0,00065 \times V + 0,192 \\ = -0,00065 \times 25 + 0,192 \\ = 0,17575$$

$$0,04 + 0,17575 = (25)^2 / (127R)$$

$$0,21575 = 625 / 127R$$

$$27,40025 R = 625$$

$$R = 625 / 27,40025$$

$$R = 22,81 \text{ m}$$

### 4.5 Evaluasi Cross Slope

Jalan angkut yang baik memiliki cross slope 40 mm/m. Setiap 1 meter jarak mendatar terdapat beda tinggi sebesar 40 mm atau 4 cm.

Beda tinggi (cross slope)

$$\text{cross slope} = \frac{1}{2} \text{ lebar jalan} \times 40 \text{ mm/m} \quad (23)$$

Maka nilai cross slope jalan tambang sebesar:

$$\text{beda tinggi max} = 40 \text{ mm/m} (1/2 \times \text{lebar jalan lurus})$$

$$\text{beda tinggi max} = 40 \text{ mm/m} (1/2 \times 24,1 \text{ m})$$

$$= 482 \text{ mm} \approx 48,2 \text{ cm}$$

Pembuatan kemiringan melintang (cross slope) ini berdasarkan lebar jalan pada kondisi lurus dan dilakukan dengan cara membuat bagian tengah jalan lebih tinggi dari bagian tepi jalan.

**4.6 Daya Dukung Jalan**

**Tabel 6.** Spesifikasi ban depan

Penggunaan	Nilai
Beban pada poros(kg) (Bermuatan(lb))	155,23 ton ( 342126,92 lb )
Distribusi truk pada as depan	31,5 %
Beban poros	31,5 % x 342126,92 lb = 107769,98 lb
1 kg	2,204 lb
1 psi	144 psf
Jumlah ban	2 buah
Tekanan udara ban	± 82 psi

- Berdasarkan data tersebut maka beban yang di terima tiap roda adalah :  
107769,98 lb : 2 = 53884,99lb  
= (0,9 x 53884,99) : 82 psi  
= 591,42 inch<sup>2</sup>
- Beban yang diterima permukaanjalan  
= 53884,99 lb : 591,42inch<sup>2</sup>  
= 91,1 psi  
=13118,4 psf

**Tabel 7.** Beban yang diterima Roda

Penggunaan	Nilai
Beban pada poros (kg) (Bermuatan (lb))	155,23 ton ( 342126,92 lb )
Distribusi truk pada as belakang	68,5 %
Beban poros	68,5 % x 342126,92 lb = 234356,94 lb
Jumlah ban	4 buah
Penggunaan	Nilai
Tekanan udara ban	± 85 psi
Equivalen beban roda tunggal	2,17

- Berdasarkan data tersebut, beban yang diterima tiap roda adalah :  
= 234356,94 lb : 4  
= 58589,24lb
- Beban ekivalen tiap set roda  
= 2,17 x 58589,24 lb  
= 127138,65 lb
- Luas daerah kontak  
= (0,9 x 127138,65) : 85 psi  
= 1346,17 inch<sup>2</sup>

- Beban yang diterima jalan  
= 127138,65 : 1346,17  
= 94,4 psi  
= 13593,6 psf

**4.7 Analisa Rimpull**

**Tabel 8.** Rimpull

Rimpull yang Tersedia				
Gear	HP	kecepatan (mph)	kecepatan (kph)	Rimpull (lb/ton)
1	938	6,5	10,5	40586,538
2	938	8,9	14,3	29641,854
3	938	12	19,3	21984,375
4	938	16,2	26	16284,722
5	938	21,9	34,9	12046,233
6	938	29,4	46,6	8973,214
7	938	39,9	60	6611,842

- Rimpull pada Gear 1 = (938 x 375 x 0,75) / (10,5)  
= 40586,538 lb/ton
- Rimpull pada Gear 2 = (938 x 375 x 0,75) / (14,3)  
= 29641,854 lb/ton
- Rimpull pada Gear 3 = (938 x 375 x 0,75) / (19,3)  
= 21984,375 lb/ton
- Rimpull pada Gear 4 = (938 x 375 x 0,75) / ( 26)  
= 16284,722 lb/ton
- Rimpull pada Gear 5 = (938 x 375 x 0,75) / (34,9)  
= 12046,233 lb/ton
- Rimpull pada Gear 6 = (938 x 375 x 0,75) / (46,6)  
= 8973,214 lb/ton
- Rimpull pada Gear 7 = (938 x 375 x 0,75) / (60)  
= 6611,842 lb/ton

**4.8 Rekomendasi Perbaikan Geometri Jalan Angkut**

Seperti diketahui berdasarkan analisis pengaruh geometri jalan terhadap bahan bakar didapat bahwa kemiringan memiliki pengaruh yang signifikan terhadap penggunaan bahan bakar. Untuk itu diperlukan penurunan elevasi sehingga dihasilkan kemiringan yang sesuai standar AASHTO untuk alat angkut yaitu dengan nilai 10%. Selain penurunan elevasi, perlu juga dilakukan penambahan lebar jalan baik pada jalan lurus maupun tikungan untuk menunjang efisiensi pada proses pengangkutan.

Berikut perhitungan jari-jari pada tikungan untuk kecepatan 25 km/jam berdasarkan standar AASHTO menggunakan Persamaan.

$$e + f = \frac{V^2}{127R} \tag{24}$$

$$f = -0,00065 \times V + 0,192$$

$$= -0,00065 \times 25 + 0,192$$

$$= 0,17575$$

$$0,04 + 0,17575 = (25)^2 / (127 R)$$

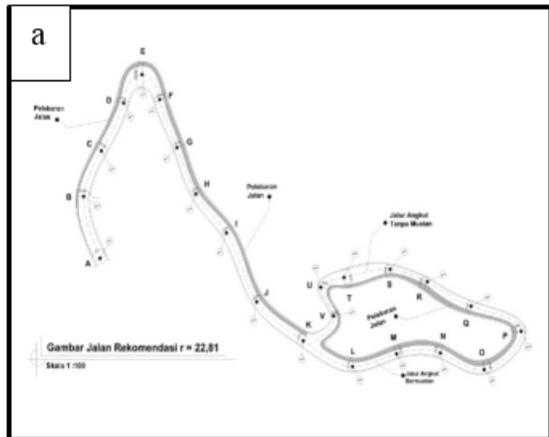
$$0,21575 = 625 / 127R$$

$$27,40025 R = 625$$

$$R = 625/27,40025$$

$$R = 22,81 \text{ m}$$

Pada perbaikan geometri jalan angkut, dilakukan perbaikan pada jari-jari tikungan berdasarkan kecepatan yang diinginkan. Perbaikan dilakukan dengan memperbaiki jari-jari tikungan menjadi 22,81 m untuk kecepatan 25 km/jam. Setelah dilakukan perbaikan jari-jari pada tikungan maka otomatis akan terjadi pelebaran jalan baik pada tikungan maupun pada jalan lurusnya.



**Gambar 5.** Geometri Jalan Rekomendasi, jari-jari Tikungan 22,81m.

Berdasarkan Gambar 5 dan 6 dapat dilihat bahwa terjadi perubahan lebar jalan akibat dari penerapan jari-jari tikungan rekomendasi sesuai dengan perhitungan AASHTO. Seperti contoh pada Titik E, untuk jari-jari 22,81 m lebar tikungan pada segmen ini menjadi 54,81 m. Penambahan lebar disesuaikan dengan kondisi di lapangan. Pada Titik A-O penambahan lebar dilakukan pada sisi kiri jalan karena pada sisi kanan terdapat jurang. Pada Titik Q-V penambahan lebar jalan dilakukan pada sisi kanan jalan dikarenakan pada sisi kiri terdapat jurang dan sisi kanan adalah tempat penampungan overburden. Kondisi front penambangan yang berada di puncak bukit memungkinkan untuk terdapatnya jurang.

Perubahan geometri jalan angkut dapat dilihat pada Tabel 9.

Berdasarkan Tabel 9 dilakukan penurunan nilai grade (kemiringan) menjadi sesuai dengan standar AASHTO yaitu 10% pada 16 segmen yang memiliki nilai grade lebih dari 10%. Rata-rata lebar jalan pada geometri rekomendasi ini adalah 29,38 m dan sudah sesuai dengan standar AASHTO baik untuk jalan lurus maupun tikungan. Selain itu, cross slope juga diperlukan untuk memudahkan sistem penyaliran air pada jalan tambang.

$$\text{Segmen A-B} = 40 \text{ mm/m } (1/2 \times 27,1 \text{ m})$$

$$= 54,2 \text{ cm}$$

Jadi nilai cross slope yang baik pada Segmen A-B adalah 48 cm.

$$\text{Segmen C-D} = 40 \text{ mm/m } (1/2 \times 26,16 \text{ m})$$

$$= 52,32 \text{ cm}$$

Jadi nilai cross slope yang baik pada Segmen C-D adalah 52,32 cm.

$$\text{Segmen D-E} = 40 \text{ mm/m } (1/2 \times 27,54 \text{ m})$$

$$= 55,08 \text{ cm}$$

Jadi nilai cross slope yang baik pada Segmen D-E adalah 55,08 cm.

Berdasarkan pencarian dari masing-masing segmen (Lampiran F) maka diperoleh rata-rata cross slope yang diperlukan untuk jalan lurus adalah 56,22 cm. Pembuatan cross slope dilakukan dengan menimbun bagian tengah jalan angkut.

**Tabel 9.** Geometri Jalan Rekomendasi (R=22,81m)

No	Segmen	Jarak (m)	Grade (%)	Lebar Jalan (m)	Cross Slope (cm)	Keterangan
1	A-B	100,354	9,96	27,1	54,2	Lurus
2	A-C	109,076	10	27,48	-	Tikungan
3	C-D	104,388	10	26,16	52,32	Lurus
4	D-E	94,195	10	27,54	55,08	Lurus
5	D-F	104,342	9,58	54,81	-	Tikungan
6	F-G	102,613	10	30,99	61,98	Lurus
7	G-H	105,602	10	25,12	50,24	Lurus
8	H-I	163,418	8,57	27,27	54,54	Lurus
9	H-J	131,413	10	31,28	-	Tikungan
10	J-K	138,626	10	26,68	53,36	Lurus
11	K-L	104,664	10	32,14	64,28	Lurus
12	K-M	98,93	10	27,12	-	Tikungan
13	M-N	104,732	10	26,56	53,12	Lurus
14	N-O	123,508	10	27,32	54,64	Lurus
15	N-P	107,738	10	27,87	-	Tikungan
16	O-Q	110,561	5,43	28,67	-	Tikungan
17	Q-R	174,99	3,43	27,54	55,08	Lurus
18	R-S	124,149	10	27,87	55,74	Lurus
19	R-T	109,12	10	26,88	53,76	Tikungan
20	T-U	103,777	10	34,36	68,72	Lurus
21	T-V	131,63	9,12	29,32	-	Tikungan
22	U-K	106,218	10	26,23	-	Tikungan
Rata-rata		116,093	9,37	29,38	56,22	-

**4.9 Produksi Pengangkutan Batu Kapur**

Perhitungan produksi aktual berdasarkan pada pengamatan cycle time di lapangan. Dari pengamatan di lapangan, cycle time aktual Komatsu HD785 adalah sebagai berikut:

**Tabel 11.** Cycle Time Aktual Komatsu HD785

Parkir Muat (Aa)	Muat Isi (Ba)	Angkut Isi (Ca)	Parkir Dump (Da)	Dump (Ea)	Angkut Kosong (Fa)	CT(s)	CT(m)
29,50	168,00	477,75	31,00	35,50	370,83	1112,58	18,54

## 5. Kesimpulan dan Saran

### 5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil evaluasi geometri jalan didapatkan hasil sebagai berikut:

1. Lebar jalan lurus aktual berkisar antara 13 – 29 meter sedangkan secara perhitungan teoritis didapatkan lebar jalan lurus minimal harus dibuat 24,10 meter.
2. Lebar jalan Pada lebar jalan tikungan terdapat 11 segmen yang mana lebar jalan aktualnya adalah 24,17, 26,4, 22,42, 18,91, 18,68, 15,29, 18,69, 17,42, 13,86, 13,38, dan 21,8 meter, sedangkan secara perhitungan teoritis didapatkan lebar jalan tikungan minimal untuk 1 jalur harus dibuat 12,44 meter dan lebar jalan tikungan minimal untuk 2 jalur harus dibuat 24,88 meter, jadi perlu dilakukan penambahan lebar jalan tikungan pada semua segmen kecuali segmen M17.
3. Grade jalan aktual pada loading point area 242 menuju chruser 6 beragam mulai dari 3,43% sampai 26,36 %. Terdapat banyak segmen jalan yang > 10% sebagai grade yang tidak aman untuk dilalui oleh alat .
4. Dengan lebar minimal pada jalan lurus sebesar 24,10 meter, maka cross slope yang harus terapkan PT. Semen Padang pada jalan angkut dari loading point area 242 menuju Chruser 6 adalah sebesar 48,2 cm.

### 5.2 Kesimpulan

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 > 10% perlu dilakukan penurunan grade jalan tersebut guna memudahkan alat angkut dapat beroperasi dengan kecepatan yang optimal ketika mengatasi tanjakan.
3. Cross slope perlu dilakukan perawatan secara berkala untuk mencegah air tidak tergenang di badan jalan.
4. Perawatan geometri jalan agar dapat dilakukan secara berkala guna meningkatkan efisiensi kerja dan produksi alat angkut.

## Daftar Pustaka

1. Aldiyansyah. dkk. *Analisis Geometri Jalan di Tambang Utara Pada PT. IFISHDECO Kecamatan Tinanggea Kabupaten Konawe Selatan Provinsi Sulawesi Tenggara*. Jurnal Geomine Vol. 04, No. 1. Konawe Selatan : Universitas Muslim Indonesia. (2016).
2. Prasmoro, V.A. *Optimasi Produksi Dump Truck Volvo FM 440 dengan Metode Kapasitaas Produksi dan Teori Antrian di Lokasi Pertambangan Batubara*. Jurnal Teknik Industri, Universitas Mercu Buana. (2014).
3. Prodjosumarto, P. *Pemindahan Tanah Mekanis*, Departemen Tambang Institut Teknologi Bandung, Bandung. (1989)
4. Suwandhi, A. *Diktat Perencanaan Tambang Terbuka seri Perencanaan Jalan Tambang*. Universitas Islam Bandung, Bandung. (2004).
5. Hartman, H.L. *Intriductory Mining Engineering*. New York: Jhon Wiley and Sons. (1987)
6. Asri Demara, Anton. dkk. *Evaluasi Jalan Angkut Dari Kilometer 21+400 Meter sampai dengan Kilometer 24+400 Meter pada Penambangan Nikel di PT. Bintangdelapan Mineral, Desa Fatufia, Kecamatan Bahodopi, Kabupaten Morowali, Provinsi Sulawesi Tengah*. Jurnal Tambang Unisba, Vol. 3, No. 1. Bandung: Universitas Islam Bandung. (2016).
7. Djunaidi, Muhammad., dan Herry Djainal. *Studi Superelevasi dalam Penentuan Jalan Angkut pada Dimensi Alat Angkut Terbesar*. Jurnal DINTEK Vol. 10, No. 1. Ternate : Universitas Muhammadiyah Maluku Utara Ternate. (2017)
8. Malik, M. Tasrik Hi., Maryanto dan 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*. Jurnal Tambang Unisba, Vol. 3, No. 1. Bandung: Universitas Islam Bandung. (2016)
9. Riyanto Thoni. dkk. *Evaluasi Jalan Tambang Berdasarkan Geometri dan Daya Dukung pada Lapisan Tanah Dasar Pit Tutupan Highwall*. Jurnal HIMASAPTA Vol. 1, No. 2. Banjarmasin : Universitas Lambung Mangkurat. (2016)
10. Sugiyono. *Metode Penelitian Kuantitatif dan R&D*. Bandung: Alfabeta. (2012).
11. Winarko, Ady. *Evaluasi Teknis Geometri Jalan Angkut Overburden untuk Mencapai Target Produksi 240.000 BCM / Bulan di Site Project Mas Lahat PT Ulina Nitra Sumatra Selatan*. Jurnal. Indralaya : Universitas Sriwijaya. (2014)