

Evaluasi Geometri Jalan Tambang Berdasarkan AASHTO 73 Terhadap Kebutuhan Bahan Bakar Alat Angkut PT Semen Padang

(Geometry Evaluation of Mine Road Based on AASHTO 73 to PT Semen Padang's Hauling Devices Fuel Needs)

Ghina Qatrunnada¹, Guskarnali¹, Haslen Oktarianty¹
¹Jurusan Teknik Pertambangan, Universitas Bangka Belitung

Abstract

This research examines the geometry of haul roads found at Front Mining 242 towards Crusher VI PT Semen Padang, West Sumatra. This research is based on the results of previous research that there are slope and width that is not in accordance with AASHTO standards on several segments in the mining location. The research also examined the fuel consumption of Komatsu HD785 and Caterpillar 777D haulage devices. This research was conducted by taking data of road geometry using GPS Geodetic and roll meter. Haul roads are divided into several segments with a spacing of about 100 m each. Fuel consumption is calculated based on total resistance received by haulage devices. The evaluation results of the haul road from Crusher VI to Front Mining 242 are the width of the haul road for the two lines in the straight line is 24.1 m, the average width of the actual road is 19.58 m. The width of the haul road for the two lanes on the bend is 24.88 m, the average road width on the actual bend is 21.63 m. Bend radius according to standard 22.81 m, in actual conditions Points M17 and M36 do not meet the standard. The slope of the road according to the standard is 10%, the actual condition averages 13.31%. The amount of cross slope according to the standard is 48.2 cm, the actual condition averages 0 cm. The use of Komatsu HD785 fuel is greater than 15.97 l/rity compared to Caterpillar 777D with a total of 14.98 l/rity. The use of Komatsu HD785 fuel on the recommended road with bend radius 22.81 m to 10.58 l/rity and at the radius of bend 33.35 m to 9.90 l/rity. The use of Caterpillar 777D fuel on the recommended road with bend radius 22.81 m to 8.92 l/rity and at the radius of bend 33.35 m to 8.35 l/rity.

Key words: geometry, road, fuel

1. Pendahuluan

PT Semen Padang merupakan sebuah perusahaan yang bergelut di bidang industri semen, mulai dari penyediaan bahan baku melalui proses penambangan sampai pengolahan bahan baku tersebut menjadi semen dan kemudian dipasarkan. Bahan dasar pembuatan semen adalah batugamping (batugamping terumbu dan *sugary*) 80%, batu (silika) 10%, *clay* 8%, pasir besi 1%. Penambangan batugamping dan silika di PT Semen Padang dilakukan dengan cara tambang terbuka (*quarry*) dengan menggunakan *benching system* yaitu sistem penambangan yang berbentuk jenjang-jenjang yang membagi areal penambangan menjadi beberapa *front* dan lantai kerja (PT Semen Padang, 2018).

Pada proses pengangkutan digunakan alat angkut berupa *Heavy Duty Truck* (HDT) untuk mengangkut batugamping dari *front* penambangan menuju *dumping site*. Alat angkut tidak dapat beroperasi secara optimal pada jalan

angkut sempit, tanjakan yang curam permukaan jalan licin, daya dukung jalan terhadap beban yang rendah hingga kemampuan mengatasi *rimpull* yang terlalu besar, sehingga akan mempengaruhi waktu tempuh dalam proses pengangkutan. Waktu tempuh yang lebih lama akan mengakibatkan penggunaan bahan bakar per ritase yang lebih besar (Suwandhi, 2004).

Keadaan jalan tambang di PT Semen Padang belum sesuai dengan standar AASHTO. Terdapat kemiringan yang tidak sesuai standar sebanyak 2 segmen dengan nilai 12,96% dan 15,19%, sedangkan menurut AASHTO standar kemiringan jalan yang sesuai adalah 8%-10% (Zudiansyah, 2015). *Front* Penambangan 242 memiliki 17 segmen dengan nilai kemiringan jalan lebih dari 10% (Silalahi, 2018). Kemiringan memiliki pengaruh terhadap penggunaan bahan bakar alat angkut, kemiringan terjal dan bervariasi memiliki nilai penggunaan bahan bakar yang lebih tinggi dibandingkan dengan kemiringan yang landai (Marinda dan Farida, 2016). Peneliti akan mengevaluasi kembali geometri jalan tambang PT Semen Padang dan mengkaji konsumsi bahan bakar alat angkatnya.

Berdasarkan latar belakang tersebut, diperoleh enam rumusan masalah pada penelitian ini, yaitu bagaimana evaluasi hasil pengukuran geometri jalan angkut aktual di

*Korespondensi Penulis: (Ghina Qatrunnada)
Jurusan Teknik Pertambangan, Fakultas Teknik,
Universitas Bangka Belitung. Kawasan Kampus
Terpadu UBB, Merawang, Bangka.
Email: qatrunnadaaaaa@gmail.com
No Hp: 082284517665

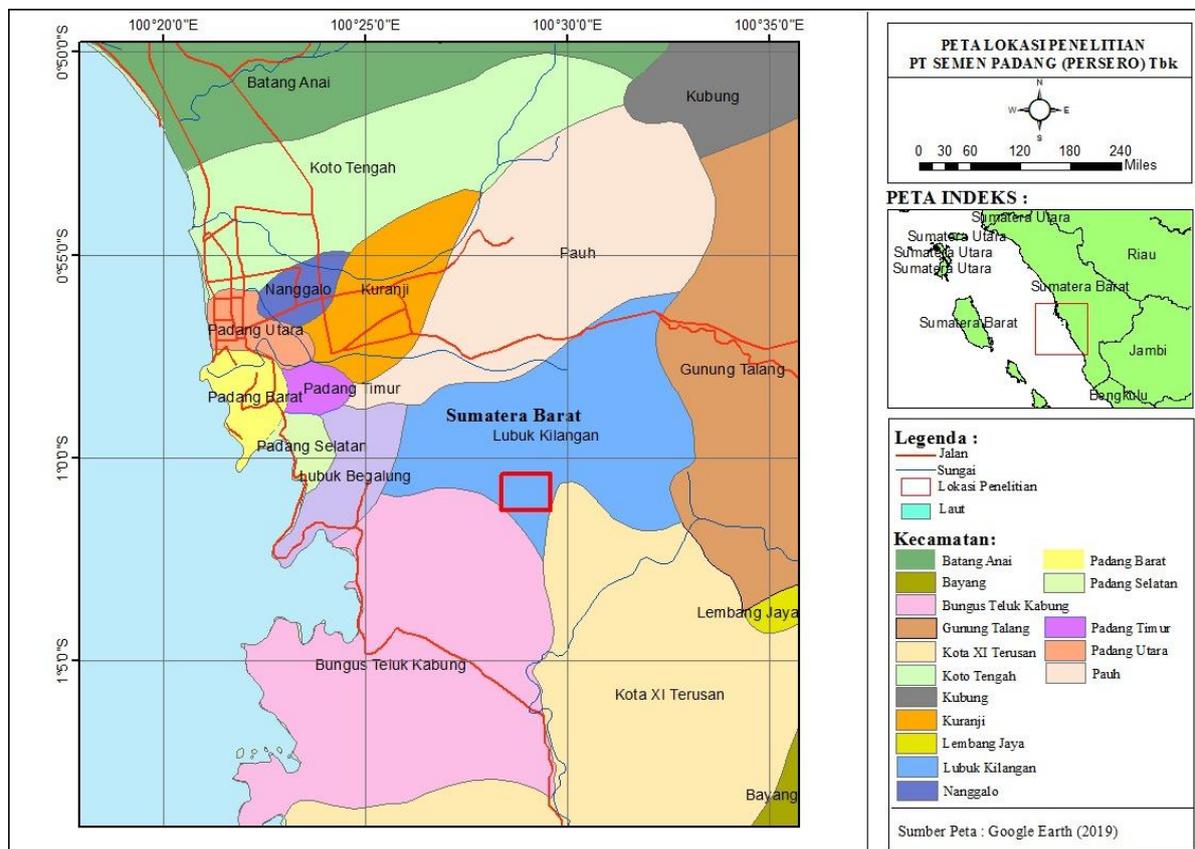
lapangan, bagaimana hasil perhitungan bahan bakar berdasarkan geometri aktual di lapangan, bagaimana pengaruh geometri jalan angkut terhadap konsumsi bahan bakar alat angkut, bagaimana rekomendasi geometri jalan yang dapat menunjang efisiensi penggunaan bahan bakar, bagaimana hasil perhitungan bahan bakar berdasarkan geometri jalan angkut rekomendasi, serta bagaimana perbandingan penggunaan bahan bakar antara Komatsu HD785 dan Caterpillar 7777D.

Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi geometri jalan angkut aktual di lapangan, menganalisis hasil perhitungan bahan bakar berdasarkan geometri aktual di lapangan, menganalisis faktor yang mempengaruhi geometri jalan angkut terhadap konsumsi bahan bakar alat angkut, merekomendasikan geometri jalan angkut yang dapat menunjang efisiensi penggunaan bahan bakar, menganalisis hasil

perhitungan bahan bakar berdasarkan geometri rekomendasi, dan menganalisis perbandingan penggunaan bahan bakar antara Komatsu HD785 dan Caterpillar 777D.

Lokasi Penelitian

Lokasi penambangan berada di Bukit Karang Putih yang terletak di Desa Karang Putih, Kelurahan Batu Gadang, Kecamatan Lubuk Kilangan. Karang Putih adalah sebuah perkampungan kecil yang terletak ± 2 km di sebelah selatan Indarung yang dengan akses jalan beton. Lokasi Penambangan dapat ditempuh menggunakan kendaraan bermotor dan memakan waktu ± 45 menit dari pusat Kota Padang dan ± 10 menit dari kantor pusat PT Semen Padang. Penelitian ini dilaksanakan pada 13 Mei 2019 sampai dengan 21 Mei 2019. Peta lokasi penelitian dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Peta penelitian lokasi di PT Semen Padang

Tinjauan Pustaka

Geologi Bukit Karang Putih

Berdasarkan hasil pemetaan geologi permukaan yang telah dilakukan oleh peneliti-peneliti terdahulu diketahui bahwa stratigrafi daerah Bukit Karang Putih tersusun oleh litologi berurutan dari tua ke muda adalah batuan kersikan anggota formasi kuantan dengan

batugamping kristalin, berumur permokarbon. Bukit Karang Putih berumur kala miosen tengah dan intrusi batuan beku. Di sebelah selatan daerah Bukit Karang Putih berumur kala miosen akhir (Geologi PT Semen Padang, 2018).

Sistem Penambangan

Kegiatan pada Departemen Pertambangan PT Semen Padang ialah penambangan

batugamping di Karang Putih dan penambangan batusilika untuk memasok kebutuhan bahan produksi semen di PT Semen Padang. Metode penambangan yang diterapkan adalah metode tambang terbuka *quarry*.

Adapun pekerjaan yang dilakukan di lapangan pada Departemen Pertambangan PT Semen Padang adalah pemboran, peledakan, penambangan, pengangkutan, pengolahan bahan tambang, pekerjaan pengiriman bahan tambang ke pabrik dan reklamasi area bekas tambang (Departemen Tambang PT Semen Padang, 2018).

Geometri Jalan Tambang

Menurut Suwandhi (2004), geometri jalan yang harus diperhatikan sama seperti jalan raya pada umumnya, yaitu lebar jalan angkut dan kemiringan jalan. Lebar jalan angkut pada tambang pada umumnya dibuat untuk pemakaian jalur ganda dengan lalu lintas satu arah atau dua arah.

Menurut AASHTO (1973), lebar jalan lurus adalah lebar alat angkut dikali jumlah jalur dan ditambah dengan setengah lebar alat angkut pada bagian tepi kiri dan kanan jalan. Lebar jalan angkut pada jalan lurus dapat dirumuskan seperti pada persamaan 1 dibawah ini.

$$L_{\min} = n \cdot Wt + (n + 1) (0,5 \cdot Wt) \dots \dots \dots (1)$$

Keterangan :

- L_{\min} = Lebar jalan angkut minimum (m)
- n = Jumlah jalur
- Wt = Lebar alat angkut (m)

Lebar jalan angkut pada tikungan menurut AASHTO selalu dibuat lebih besar dari pada 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. Rumus yang digunakan untuk menghitung lebar jalan angkut minimum pada belokan dapat menggunakan persamaan berikut :

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

$$C = Z = \frac{1}{2} \times (U + Fa + Fb) \dots \dots \dots (3)$$

Keterangan :

- W_{\min} = Lebar jalan pada belokan (m)
- n = Jumlah jalur
- U = Lebar jejak roda (*centre to centre tyre*) (m)
- Fa = Lebar jantai (*overhang*) depan (m)
- Fb = Lebar jantai belakang (m)
- Z = Lebar bagian tepi jalan (m)
- C = Jarak antar kendaraan (m)

Menurut Suwandhi (2004) kemampuan alat angkut *dump truck* untuk melewati tikungan sangat terbatas, maka dalam pembuatan tikungan harus memperhatikan besarnya jari-jari tikungan jalan. Selain itu, jari-jari tikungan sangat

tergantung dari kecepatan kendaraan karena semakin tinggi kecepatan maka jari-jari tikungan yang dibuat juga harus besar. Untuk menentukan nilai jari-jari tikungan minimum maka bisa menggunakan persamaan berikut.

$$R = \frac{V_R^2}{127(e + f)} \rightarrow R_{\max} = \frac{V_R^2}{127(e_{\max} + F_{\max})} \dots \dots \dots (4)$$

Keterangan :

- R = Jari-jari belokan (m)
- V_R = Kecepatan (km/jam)
- e = *superelevasi*
- f = gesekan roda (*friction factor*)

Superelevasi dibuat untuk menghindari gaya sentrifugal pada saat alat angkut melewati tikungan. Menurut Sukirman (1999: 74) besarnya angka superelevasi dapat dihitung menggunakan Persamaan berikut.

$$e + f = \frac{V^2}{127 R} \dots \dots \dots (5)$$

Keterangan :

- e = angka superelevasi
- f = *friction factor*
- V = kecepatan (km/jam)
- R = jari-jari tikungan (m)

a. Untuk kecepatan rencana <80 km/jam berlaku
 $f = -0,00065 V + 0,192 \dots \dots \dots (6)$

b. Untuk kecepatan rencana yaitu senilai antara 80-112 km/jam berlaku
 $f = -0,00125 V + 0,24 \dots \dots \dots (7)$

Menurut AASHTO (1990), Kemiringan jalan angkut dapat berupa jalan menanjak ataupun jalan menurun, yang disebabkan perbedaan ketinggian pada jalur jalan, kemiringan jalan dinyatakan dalam persen. Kemiringan jalan berhubungan langsung dengan kemampuan alat angkut, baik dalam pengereman pada jalan menurun maupun dalam mengatasi tanjakan. Kemiringan dihitung menggunakan persamaan 8.

$$Grade (\%) = \frac{\Delta h}{\Delta x} \times 100 \quad \% \dots \dots \dots (8)$$

Keterangan:

- Δh : Beda tinggi antara dua titik segmen yang diukur (m)
- Δx : Jarak datar antara dua titik segmen jalan diukur (m)

Menurut AASHTO (1990), kemiringan jalan maksimum yang dapat dilalui dengan baik dan dikategorikan aman oleh alat angkut truck berkisar antara 8%-10%.

Menurut Awang Suwandhi (2004) *Cross Slope* adalah perbedaan ketinggian sisi jalan dengan bagian tengah permukaan jalan. Dibuat demikian dengan tujuan untuk memperlancar penirisan. Nilai beda tinggi *cross slope* dapat dihitung menggunakan persamaan berikut:

Cross slope = ½ lebar jalan x 40 mm/m.....(9)

Konsumsi Bahan Bakar

Konsumsi bahan bakar merupakan fungsi dari tenaga yang dibutuhkan kendaraan untuk menggerakkan mesin. Konsumsi bahan bakar dihitung berdasarkan tahanan total dan *rimpull* yang diterima oleh alat angkut yang digunakan untuk menghitung daya seperti pada persamaan berikut:

$$P = \frac{(R+RP)V}{(1-i)n} \dots\dots\dots(9)$$

Setelah didapat nilai daya maka bahan bakar dapat dihitung dengan persamaan berikut:

$$m = (P \times Bsfc) : Fd \dots\dots\dots(10)$$

2. Metode Penelitian

Metode penelitian yang digunakan adalah kualitatif berupa pengamatan langsung dan studi literatur yang terkait dengan Geometri jalan angkut dan konsumsi bahan bakar. Penelitian dilakukan dengan mengambil data geometri jalan angkut menggunakan GPS Geodetik dan pita ukur. Jalan angkut dibagi dalam beberapa segmen dengan jarak antar segmen masing-masing kurang lebih 100 m. Konsumsi bahan bakar alat angkut dihitung berdasarkan tahanan total yang diterima oleh alat angkut dan menghasilkan nilai daya dan *rimpull*. Daya dan *rimpull* inilah yang dipakai pada rumus perhitungan bahan bakar.

Penelitian ini dilakukan melalui beberapa tahapan yang meliputi studi literatur, perumusan masalah, pengumpulan dan pengelompokan data, pengolahan data, analisis data, serta penyusunan laporan. Tahapan studi literatur dilakukan dengan mengumpulkan bahan-bahan pustaka yang berhubungan dengan penelitian geometri jalan angkut dan konsumsi bahan bakar.

3. Hasil dan Pembahasan

Penelitian dilakukan di area penambangan 242 yang berada di puncak Bukit Karang Putih, Kota Padang, Sumatera Barat (Gambar 2). Jalan angkut pada lokasi ini dinamakan Jalan Tajarang Utama oleh PT Semen Padang. Pengukuran jalan angkut tambang pada area ini dilakukan dengan menggunakan alat ukur GPS Geodetik tipe Leica dan jarak angkut pada area ini yaitu 3,708 km.



Gambar 2. Lokasi Penambangan 242

Evaluasi Geometri Jalan Angkut Aktual

Geometri Jalan Lurus

Perhitungan standar lebar minimum jalan angkut yaitu berdasarkan lebar alat angkut. 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. 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. Hasil evaluasi jalan angkut lurus pada lokasi penelitian ditunjukkan pada Tabel 1 berikut.

Tabel 1. Evaluasi Lebar Jalan Lurus

| No | Titik | Jumlah Jalur | Lebar Standar AASHTO (m) | Real (m) | Keterangan |
|-----------|-------|--------------|--------------------------|----------|------------|
| 1 | M13 | Dua jalur | 24,1 | 27,1 | Baik |
| 2 | M15 | Dua jalur | 24,1 | 21,0 | +3,1 |
| 3 | M16 | Dua jalur | 24,1 | 20,0 | +4,1 |
| 4 | M18 | Dua jalur | 24,1 | 18,4 | +5,7 |
| 5 | M19 | Dua jalur | 24,1 | 16,3 | +7,8 |
| 6 | M20 | Dua jalur | 24,1 | 16,8 | +7,3 |
| 7 | M22 | Dua jalur | 24,1 | 18,3 | +5,8 |
| 9 | M25 | Dua jalur | 24,1 | 16,0 | +8,1 |
| 10 | M26 | Dua jalur | 24,1 | 18,5 | +5,6 |
| 11 | M32 | Dua jalur | 24,1 | 13,4 | +10,7 |
| 12 | M33 | Dua jalur | 24,1 | 17,2 | +6,9 |
| 13 | M35 | Dua jalur | 24,1 | 29,7 | Baik |
| Rata-rata | | | | 19,58 | +5,2 |

Berdasarkan Tabel 1, lebar jalan angkut pada Front Penambangan 242 menuju *dumping point*

Crusher VI sebagian besar tidak sesuai dengan standar AASHTO. Rata-rata lebar jalan lurus

pada area ini yaitu 19,58 m dan dibutuhkan penambahan lebar rata-rata 5,2 m per segmen. Kondisi jalan yang tidak sesuai standar akan berdampak pada proses pengangkutan yang tidak efisien sehingga untuk saat ini pada jalur M32 – M37 hanya digunakan untuk satu jalur angkut.

Lebar Jalan 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. Hasil evaluasi lebar jalan angkut pada tikungan ditunjukkan oleh Tabel 2 di bawah ini.

Tabel 2. Evaluasi lebar jalan tikungan

| N | Titik | Jumlah Jalur | Lebar Standar AASHTO (m) | Real (m) | Keterang |
|-----------|---------|--------------|--------------------------|----------|----------|
| 1 | M14 | 2 jalur | 24,88 | 24,17 | +0,71 |
| 2 | M17 | 2 jalur | 24,88 | 26,4 | Baik |
| 3 | M21 | 2 jalur | 24,88 | 22,42 | +2,46 |
| 4 | M24 | 2 jalur | 24,88 | 18,91 | +5,97 |
| 5 | M25-M26 | 2 jalur | 24,88 | 18,68 | +6,2 |
| 6 | M27 | 2 jalur | 24,88 | 15,29 | +9,59 |
| 7 | M28 | 2 jalur | 24,88 | 18,69 | +6,19 |
| 8 | M34 | 2 jalur | 24,88 | 17,42 | +7,46 |
| 9 | M36 | 2 Jalur | 24,88 | 13,86 | +11,02 |
| 1 | M37 | 2 Jalur | 24,88 | 13,38 | +11,5 |
| 1 | M37-M23 | 2 Jalur | 24,88 | 21,8 | +3,08 |
| Rata-rata | | | | 19,18 | +5,83 |

Berdasarkan Tabel 2 di atas, rata-rata lebar jalur angkut pada tikungan belum sesuai dengan standar yang telah ditetapkan. Terdapat sebanyak 11 (sebelas) jalan angkut tikungan pada *Front* Penambangan 242, hanya 1 (satu) tikungan yang memiliki lebar sesuai standar minimum berdasarkan perhitungan AASHTO yaitu pada Titik M17. Rata-rata lebar jalur angkut

tikungan yaitu 19,18 m sehingga diperlukan penambahan lebar rata-rata 5,83 m per segmen.

Evaluasi *Grade* Jalan

Berdasarkan teori AASHTO diketahui bahwa nilai *grade* yang baik dilalui oleh angkut yaitu sebesar 10%. Hasil evaluasi *grade* jalan ditunjukkan pada Tabel 3 berikut.

Tabel 3. Evaluasi Hasil Pengukuran Jarak, Beda Tinggi dan *Grade* Jalan

| No | Segmen | Jarak (m) | Beda Tinggi (m) | <i>Grade</i> (%) | <i>Grade</i> Standar AASHTO (%) | Beda Tinggi Berdasarkan Standar (m) | Keterangan |
|----|--------|-----------|-----------------|------------------|---------------------------------|-------------------------------------|------------|
| 1 | A-B | 100,354 | 10 | 9,96 | 10 | 10,035 | Baik |
| 2 | B-C | 109,076 | 11 | 10,08 | 10 | 10,908 | -0,092 |
| 3 | C-D | 104,388 | 15 | 14,37 | 10 | 10,439 | -4,561 |
| 4 | D-E | 94,195 | 14 | 14,86 | 10 | 9,42 | -4,58 |
| 5 | E-F | 104,342 | 10 | 9,58 | 10 | 10,434 | Baik |
| 6 | F-G | 102,613 | 16 | 15,59 | 10 | 10,261 | -5,739 |
| 7 | G-H | 105,602 | 11 | 10,42 | 10 | 10,560 | -0,44 |
| 8 | H-I | 163,418 | 14 | 8,57 | 10 | 16,342 | Baik |
| 11 | K-L | 104,664 | 13 | 12,42 | 10 | 10,466 | -2,534 |
| 12 | L-M | 98,93 | 20 | 20,22 | 10 | 9,893 | -0,107 |
| 13 | M-N | 104,732 | 11 | 10,50 | 10 | 10,473 | -0,527 |
| 14 | N-O | 123,508 | 21 | 17,00 | 10 | 12,351 | -8,649 |
| 15 | O-P | 107,738 | 17 | 15,78 | 10 | 10,774 | -6,226 |
| 16 | P-Q | 110,561 | 6 | 5,43 | 10 | 11,056 | Baik |
| 17 | Q-R | 174,99 | 6 | 3,43 | 10 | 17,499 | Baik |
| 18 | R-S | 124,149 | 21 | 16,92 | 10 | 12,415 | -8,585 |

| No | Segmen | Jarak (m) | Beda Tinggi (m) | Grade (%) | Grade Standar AASHTO (%) | Beda Tinggi Berdasarkan Standar (m) | Keterangan |
|-----------|--------|-----------|-----------------|-----------|--------------------------|-------------------------------------|------------|
| 19 | S-T | 109,12 | 17 | 15,58 | 10 | 10,912 | -6,088 |
| 20 | T-U | 103,777 | 16 | 15,42 | 10 | 10,378 | -5,622 |
| 21 | U-V | 131,63 | 12 | 9,12 | 10 | 13,163 | Baik |
| 22 | V-K | 106,218 | 28 | 26,36 | 10 | 10,622 | -17,378 |
| Rata-rata | | 116,093 | 15,045 | 13,310 | 10 | 11,609 | -6,008 |

Berdasarkan Tabel 3, dari 22 segmen terdapat 16 segmen yang belum sesuai dengan standar *grade* menurut teori AASHTO. Diperlukan penurunan nilai *grade* untuk meningkatkan efisiensi dalam proses pengangkutan.

Evaluasi Jari-jari Tikungan dan Superelevasi

Diketahui nilai kecepatan rata-rata pengangkutan dalam kondisi bermuatan yaitu 15 km/jam dan untuk kondisi tanpa muatan yaitu 25 km/jam. Nilai *superelevasi* sesuai standar yaitu 4%. Berdasarkan perhitungan menggunakan Persamaan 5, jari-jari yang direkomendasikan yaitu 22,81 m. Berikut tabel jari-jari tikungan aktual dan *superelevasi*.

Tabel 4. Jari-jari Tikungan Aktual dan *Superelevasi*

| Titik | Lebar Jalan (m) | Jari-jari Aktual (m) | Beda Tinggi (m) | <i>Superelevasi</i> Aktual (%) | Beda Tinggi Berdasarkan <i>Superelevasi</i> Standar (m) | Keterangan | |
|-----------|-----------------|----------------------|-----------------|--------------------------------|---|------------------------------|---|
| M14 | 24,17 | 115,272 | 0,401 | 1,66 | 0,9668 | Baik | |
| M17 | 26,4 | 9,321 | 1,410 | 5,34 | 1,056 | -0,354 m, jari-jari +13,49 m | |
| M21 | 22,42 | 206,459 | 0,235 | 1,05 | 0,8968 | Baik | |
| M24 | 18,91 | 111,914 | 0,078 | 0,41 | 0,7564 | Baik | |
| M25-M26 | 18,68 | 101,255 | 0,308 | 1,65 | 0,7472 | Baik | |
| M27 | 15,29 | 66,986 | 0,644 | 4,21 | 0,6116 | -0,032 m | |
| M28 | 18,69 | 28,156 | 0,379 | 2,03 | 0,7476 | +0,3686 m | |
| M34 | 17,42 | 94,790 | 0,561 | 3,22 | 0,6968 | Baik | |
| M36 | 13,86 | 8,262 | 0,564 | 4,07 | 0,5544 | -0,01 m, jari-jari +14,55 m | |
| M37 | 13,38 | 37,645 | 0,607 | 4,54 | 0,5352 | -0,072 m | |
| Rata-rata | | 18,92 | 78,01 | 0,568 | 2,82 | 0,7569 | - |

Secara rata-rata nilai *superelevasi* aktual di lapangan sudah sesuai dengan standar. Namun jika dilihat per tikungan, dari 10 tikungan terdapat 4 tikungan yang mempunyai nilai *superelevasi* lebih dari 4%. Diperlukan penurunan beda tinggi pada setiap tikungan dengan nilai *superelevasi* di atas 4% yaitu pada Titik M17, Titik M27, Titik M36, dan Titik M37 dengan nilai penurunan sesuai pada Tabel 4.

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. Hasil Evaluasi *cross slope* ditunjukkan oleh Tabel 5 berikut.

Tabel 5. Hasil Pengukuran *Cross Slope* Jalan Tambang.

| No | Titik | Lebar (m) | <i>Cross Slope</i> (cm) | Ket |
|-----------|-------|-----------|-------------------------|--------|
| 1 | M13 | 27,1 | 0 | +54,2 |
| 2 | M15 | 21,0 | 0 | +42 |
| 3 | M16 | 20,0 | 0 | +40 |
| 4 | M18 | 18,4 | 0 | +36,8 |
| 5 | M19 | 16,3 | 0 | +32,6 |
| 6 | M20 | 16,8 | 0 | +33,6 |
| 7 | M22 | 18,3 | 0 | +36,6 |
| 8 | M23 | 21,8 | 0 | +43,6 |
| 9 | M25 | 16,0 | 0 | +32 |
| 10 | M26 | 18,5 | 0 | +37 |
| 11 | M32 | 13,4 | 0 | +26,8 |
| 12 | M33 | 17,2 | 0 | +34,4 |
| 13 | M35 | 29,7 | 0 | +59,4 |
| Rata-rata | | 19,58 | 0 | +39,15 |

Pengamatan terhadap *cross slope* yang ada di lapangan menunjukkan bahwa semua segmen jalan tambang yang ada di *Front* 242 tidak memiliki *cross slope*. Kondisi ini mengakibatkan sistem penyaliran air pada jalan tidak berjalan sesuai fungsinya. Perbaikan yang dapat dilakukan adalah membuat *cross slope* dengan menimbun jalan tambang.

Bahan Bakar Aktual

Perhitungan konsumsi bahan bakar dilakukan pada 2 (dua) merk alat angkut yang berbeda yaitu Komatsu HD785 dan Caterpillar 777D yang digunakan sebagai alat angkut pada *Front* Penambangan 242 yang merupakan lokasi penelitian. Berikut tabel hasil perhitungan bahan bakar.

Tabel 6. Hasil Konsumsi Bahan Bakar Alat Angkut Sebelum Perbaikan

| | Cycle Time (menit) | Komatsu HD785 | | Caterpillar 777D | |
|------------------------------|--------------------|---------------|--------------|------------------|--------------|
| | | Bermuatan | Tanpa Muatan | Bermuatan | Tanpa Muatan |
| Berat (ton) | | 155,23 | 70,49 | 149,41 | 64,67 |
| Tahanan (kg) | | 1396,973 | 2390,158 | 1396,973 | 2390,158 |
| Rimpull (kg) | 17,86 | -216852 | 168482,22 | -208722 | 154571,5 |
| Daya (kW) | | 8729,961 | 11391,492 | 8404,746 | 10464,110 |
| Bahan Bakar (l) | | 6,929 | 9,041 | 6,681 | 8,308 |
| Total Bahan Bakar (l/ritase) | | 15,97 | | 14,98 | |

Penggunaan bahan bakar alat angkut Komatsu HD785 lebih besar dengan total penggunaan bahan bakar sebesar 15,97 l/ritase dibandingkan dengan Caterpillar 777D dengan total penggunaan bahan bakar sebesar 14,98 l/ritase.

Pengaruh Geometri Terhadap Bahan Bakar

Analisis pengaruh *grade* terhadap bahan bakar dilakukan dengan mengelompokkan segmen yang memiliki lebar jalan yang sama atau hampir sama dan analisis pengaruh lebar jalan terhadap bahan bakar dilakukan dengan mengelompokkan segmen yang memiliki *grade* yang hampir sama. Berikut grafik pengaruh *grade* terhadap bahan bakar.



Gambar 3. Grafik Pengaruh *Grade* Terhadap Bahan Bakar

Berdasarkan grafik tersebut dapat diketahui bahwa semakin besar nilai *grade* maka akan semakin besar pula bahan bakar yang akan dihabiskan oleh alat angkut. Hal ini menunjukkan

bahwa *grade* memiliki pengaruh yang penting terhadap penggunaan bahan bakar, seperti diketahui pada evaluasi geometri jalan angkut aktual didapat bahwa 16 segmen memiliki nilai *grade* yang lebih dari 10%, maka diperlukan penurunan elevasi guna efisiensi penggunaan bahan bakar alat angkut. Selain itu, berikut grafik pengaruh lebar jalan terhadap bahan bakar.



Gambar 4. Grafik Pengaruh Lebar Jalan Terhadap Bahan Bakar.

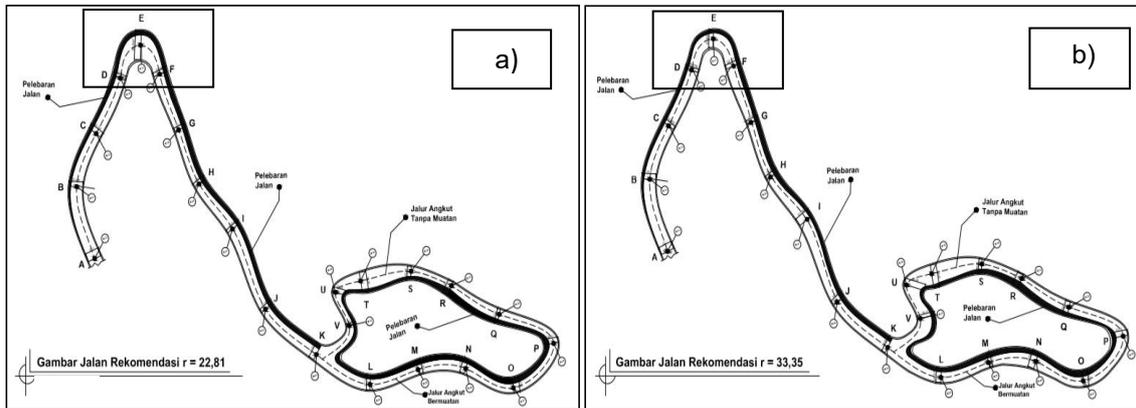
Berdasarkan grafik di atas dapat diketahui bahwa perbedaan nilai konsumsi bahan bakar yang cukup terlihat. Hal ini berarti bahwa lebar jalan tidak memiliki pengaruh terhadap penggunaan bahan bakar.

Rekomendasi Perbaikan Geometri Jalan Angkut

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 dan 33,35 m untuk kecepatan 30 km/jam dengan nilai *superelevasi* sesuai standar yaitu 4%. Setelah dilakukan perbaikan jari-jari pada tikungan maka otomatis akan terjadi pelebaran jalan baik pada tikungan maupun pada jalan lurusnya. Penurunan nilai *superelevasi* dilakukan dengan melakukan penurunan beda tinggi pada tikungan. Beda tinggi yang diperlukan untuk mencapai nilai *superelevasi* 4% terdapat pada

Tabel 4. Penambahan beda tinggi juga dilakukan pada tikungan tajam yang memiliki nilai *superelevasi* di bawah 4%. Hal ini dilakukan untuk meminimalisir kendaraan mengarah ke luar tikungan. Pembuatan *cross slope* disesuaikan dengan lebar jalan yang dihasilkan dari perubahan lebar jalan akibat perubahan jari-jari tikungan. Berikut gambar jalan angkut rekomendasi untuk jari-jari 22,81 m.



Gambar 5. Jalan Rekomendasi: a) Jari-jari Tikungan 22,81 m, b) Jari-jari Tikungan 33,35 m.

Berdasarkan Gambar 5 dapat dilihat bahwa terjadi perubahan lebar jalan akibat dari penerapan jari-jari tikungan rekomendasi sesuai dengan perhitungan AASHTO. Contoh perbedaan jari-jari tikungan terdapat pada Titik E yang diberi kotak pada Gambar 5. 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* 242 yang berada di puncak bukit memungkinkan untuk terdapatnya jurang.

Perbaikan geometri rekomendasi dilakukan berdasarkan perhitungan jari-jari pada tikungan dengan kecepatan yang berbeda yaitu 25 km/jam dan 30 km/jam. Hal ini menyebabkan perubahan waktu tempuh alat angkut yang mempengaruhi konsumsi bahan bakar. Perhitungan perubahan waktu tempuh alat angkut dilakukan dengan menghitung jarak dalam km dibagi dengan kecepatan yang diinginkan dan dikalikan 3600 untuk hasil dalam satuan detik. Waktu tempuh alat angkut dengan kecepatan 15 km/jam pada kondisi bermuatan dan 25 km/jam pada kondisi tanpa muatan yaitu sebesar 16,39 menit. Waktu tempuh alat angkut dengan kecepatan 20 km/jam pada kondisi bermuatan dan 30 km/jam pada kondisi tanpa muatan yaitu 13,82 menit.

Penggunaan Bahan Bakar pada Geometri Rekomendasi

Tabel 7. Konsumsi Bahan Bakar Alat Angkut (r=22,81 m, ca=16,39 menit)

| | Cycle Time (menit) | Komatsu HD785 | | Caterpillar 777D | |
|------------------------------|--------------------|---------------|--------------|------------------|--------------|
| | | Bermuatan | Tanpa Muatan | Bermuatan | Tanpa Muatan |
| Berat (ton) | | 155,23 | 70,49 | 149,41 | 64,67 |
| Tahanan (kg) | | 921,155 | 1838,50 | 921,155 | 1838,50 |
| Rimpull (kg) | 16,39 | -142991 | 129595, | -137630 | 118895,7 |
| Daya (kW) | | 5756,48 | 8762,29 | 5542,035 | 8048,949 |
| Bahan Bakar (l) | | 4,195 | 6,385 | 4,037 | 5,863 |
| Total Bahan Bakar (l/ritase) | | 10,58 | | 9,90 | |

Berdasarkan Tabel 7 di atas terjadi penurunan nilai tahanan dan *rimpull*. Hal ini

karena terjadi penurunan nilai *grade*. Penurunan nilai tahanan dan *rimpull* berakibat pada

penurunan daya yang digunakan oleh alat angkut untuk melewati jalan. Terjadi perubahan waktu menjadi 16,39 menit. Penurunan daya dan perubahan waktu tempuh berakibat pada

penurunan nilai penggunaan bahan bakar. Penggunaan bahan bakar pada geometri jalan rekomendasi dengan jari-jari 33,35 m dan waktu tempuh 13,82 menit ditunjukkan oleh Tabel 8.

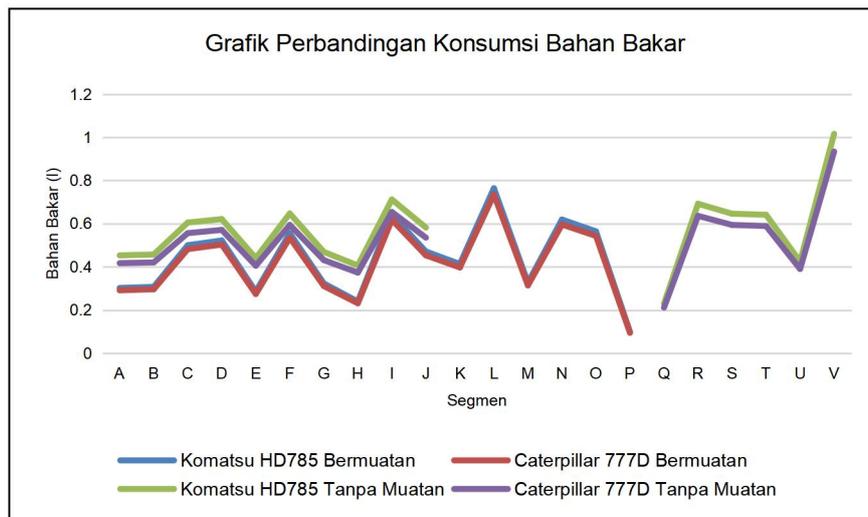
Tabel 8. Konsumsi Bahan Bakar Alat Angkut (r=33,35 m, ca=13,82 menit)

| | Cycle Time (menit) | Komatsu HD785 | | Caterpillar 777D | |
|------------------------------|--------------------|---------------|--------------|------------------|--------------|
| | | Bermuatan | Tanpa Muatan | Bermuatan | Tanpa Muatan |
| Berat (ton) | | 155,23 | 70,49 | 149,41 | 64,67 |
| Tahanan (kg) | | 921,155 | 1838,50 | 921,155 | 1838,50 |
| Rimpull (kg) | 13,82 | -142991 | 129595, | -137630 | 118895,7 |
| Daya (kW) | | 5756,48 | 8762,29 | 5542,035 | 8048,949 |
| Bahan Bakar (l) | | 3,537 | 5,383 | 3,405 | 4,945 |
| Total Bahan Bakar (l/ritase) | | 8,92 | | 8,35 | |

Berdasarkan Tabel 8, penurunan bahan bakar terjadi akibat perubahan waktu tempuh menjadi 13,82 menit akibat kenaikan kecepatan alat angkut.

Komatsu HD785 dan Caterpillar 777D memiliki kapasitas *vesse/* yang sama yaitu 100 ton untuk itu kedua alat ini dapat dibandingkan dari penggunaan bahan bakarnya. Perbandingan konsumsi bahan bakar dari kedua alat ditunjukkan oleh Gambar 6.

Perbandingan Konsumsi Bahan Bakar Komatsu HD 785 dan Caterpillar 777D



Gambar 6. Grafik Perbandingan Konsumsi Bahan Bakar

Berdasarkan Gambar 6 didapat bahwa konsumsi bahan bakar Caterpillar 777D selalu memiliki nilai lebih rendah dibandingkan dengan Komatsu HD785 di setiap segmennya baik dalam kondisi bermuatan maupun tanpa muatan. Perbedaan konsumsi bahan bakar ini disebabkan oleh berat dari alat angkut Caterpillar 777D yang lebih rendah dibandingkan dengan Komatsu HD785. Caterpillar 777D memiliki berat kosong 64,67 ton sedangkan Komatsu HD785 memiliki berat kosong 70,49 ton. Berat Komatsu HD785 pada kondisi bermuatan adalah 155,23 ton dan berat Caterpillar 777D pada kondisi bermuatan adalah 149,41 ton.

Hasil analisis tersebut menunjukkan Caterpillar 777D mengonsumsi bahan bakar lebih sedikit dibandingkan dengan Komatsu HD785. Kapasitas angkut yang sama pada kedua alat dan dengan perbandingan konsumsi bahan bakar tersebut maka direkomendasikan agar perusahaan menggunakan alat angkut Caterpillar 777D karena bisa membuat lebih irit biaya produksi dalam proses pengangkutan.

4. Kesimpulan

Berdasarkan uraian dari hasil pembahasan yang terdapat pada penelitian ini didapatkan hasil evaluasi jalan angkut dari *Crusher VI* ke *Loading*

Point Front Penambangan 242 adalah rata-rata lebar jalan angkut lurus dan tikungan belum memenuhi standar, rata-rata jari-jari tikungan dan *superelevasi* sudah memenuhi standar, dan tidak ada *cross slope* di lapangan. Penggunaan bahan bakar Komatsu HD785 pada geometri aktual adalah 15,97 l/ritase sedangkan Caterpillar 777D sebesar 14,98 l/ritase.

Grade jalan memiliki pengaruh terhadap konsumsi bahan bakar. Rekomendasi geometri jalan angkut dilakukan berdasarkan jari-jari tikungan. Pada geometri dengan jari-jari 22,81 m, rata-rata lebar jalan angkut menjadi 29,38 m sedangkan pada jari-jari 33,35 m, rata-rata lebar jalan angkut menjadi 29,89 m.

Konsumsi bahan bakar Komatsu HD785 pada jari-jari tikungan 22,81 m menjadi 10,58 l/ritase sedangkan Caterpillar 777D menjadi 9,90 l/ritase. Pada jari-jari tikungan 33,35 m Komatsu HD785 memiliki nilai konsumsi bahan bakar 8,92 l/ritase sedangkan Caterpillar 777D 8,35 l/ritase.

Daftar Pustaka

American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO) Manual Rural High Way Design. 1973. *Perencanaan Desain Jalan Angkut*.

- Anonim. 2018. *Laporan, Data-data dan Arsip*. Padang: PT Semen Padang.
- Direktorat Jendral Bina Marga, Bipran. 1990. *Spesifikasi Standar untuk Perencanaan Geometrik Jalan Luar Kota* (Rancangan Akhir).
- Kastowo dan Silitonga, P.H. 1973. *Peta Geologi Bersistem Lembar Solok, Sumatera*. Bandung: Direktorat Geologi.
- Nichols, H. L. 1976. *Moving The Earth: The workbook of excavation*, North Castle Book.
- Peurifoy, R. L. 1956. *Construction Planning Equipment and Methods volume 7*. Newyork: McGraw-Hill.
- Sukirman, Silvia. 1999. *Dasar-Dasar Perencanaan Geometrik Jalan*, Bandung: Penerbit Nova.
- Suwandhi, Awang. 2004. *Perencanaan Jalan Tambang*. Bandung: Jurusan Teknik Pertambangan UNISBA.
- Waterman, S. 2010. *Perencanaan Tambang*. Yogyakarta: Program Studi Teknik Pertambangan, Fakultas Teknik, UPN Veteran Yogyakarta.
- Wong, J.Y. 2001. *Theory of ground vehicle third edition*, Wiley-IEEE.