

# EVALUASI JALAN ANGKUT TAMBANG BERDASARKAN GEOMETRI DAN DAYA DUKUNG PADA LAPISAN TANAH DASAR

Arip Wibowo Saputra<sup>1</sup>, Uyu Saismana<sup>1</sup>, Romla Noor Hakim<sup>1</sup>, Christian Londong<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Program Studi Teknik Pertambangan, Fakultas Teknik, Universitas Lambung Mangkurat

<sup>2</sup>Engineering Department, PT Rahman Abdijaya  
e-mail : wibowoarip5@gmail.com

## ABSTRAK

Jalan angkut dari *front* penambangan menuju *dumping area* di PT. Rahman Abdijaya merupakan jalan angkut dua jalur. Setelah dilakukan pengamatan di lapangan terdapat beberapa segmen yang lebar jalannya belum memenuhi standar, dan *grade* jalan masih ada yang tinggi. Melalui penelitian tugas akhir ini, akan dilakukan analisa mengenai geometri jalan angkut berdasarkan spesifikasi alat angkut terbesar yang melewatinya. Selanjutnya dari analisa tersebut didapatkan hasil yang nantinya akan digunakan untuk menentukan upaya perbaikan dan perkerasan jalan angkut tambang.

Adapun metode yang digunakan pada penelitian ini meliputi analisa geometri jalan, daya dukung tanah jalan terhadap beban yang melewatinya, serta faktor-faktor yang mempengaruhi kondisi jalan sehingga mengakibatkan jalan tersebut mengalami kerusakan maupun amblesan.

Penelitian dimulai dengan pengambilan data geometri aktual jalan dan daya dukung tanah aktual jalan (CBR *subgrade* dan *rolling resistance*). Kemudian membandingkan dengan standar teoritis, diperoleh geometri ideal (lebar jalan lurus 22 meter, lebar jalan tikungan 26,1 meter, *grade* maksimal 8%, *superelevasi* 4% dan *cross slope* 2-4%) untuk desain kecepatan alat angkut Caterpillar OHT 777-D sebesar 60 km/jam dan daya dukung tanah diperoleh nilai CBR yang ideal untuk jalan angkut tersebut sebesar 60%. Melalui perbaikan kondisi jalan meliputi geometri jalan ideal dan daya dukung tanah didapatkan selisih waktu tempuh untuk jalur bermuatan sebesar 0,33 menit dan untuk jalur tidak bermuatan sebesar 0,40 menit.

**Kata Kunci:** Geometri, CBR, Kecepatan

## PENDAHULUAN

Dalam *operasional* penambangan dan pencapaian target produksi, jalan angkut memiliki kontribusi utama untuk mendukung kelancaran kegiatan *operasional*. Hal tersebut dikarenakan apabila kondisi jalan angkut yang didesain tidak sesuai dengan standar *operasional* prosedur penambangan dan spesifikasi alat maka akan menghambat laju target produksi yang sudah ditetapkan.

Jalan angkut yang baik tentunya dapat mendukung kinerja alat angkut yang melaluinya. Jika geometri jalannya sudah sesuai dengan persyaratan dan lebar jalan pada jalan lurus dan tikungan sudah sesuai dimensi alat angkut yang digunakan, hal ini tentu dapat memberikan kontribusi yang besar untuk waktu tempuh dan kecepatan alat angkut yang akan berdampak pada peningkatan produktivitas dari alat angkut itu sendiri.

Jalan angkut dari *front* penambangan menuju *dumping area* di PT. Rahman Abdijaya merupakan jalan angkut dua jalur. Perhitungan geometri jalan yang digunakan menggunakan alat hauler terbesar yaitu Cat 777D. Namun ada beberapa segmen yang lebar jalannya belum memenuhi standar, dan *grade* jalan masih ada yang tinggi.

Melalui penelitian ini akan dilakukan analisa mengenai geometri jalan angkut berdasarkan spesifikasi alat angkut terbesar yang melewatinya. Selanjutnya dari analisa tersebut didapatkan hasil yang nantinya akan menjadi acuan untuk menentukan upaya perbaikan dan perkerasan jalan angkut tambang.

Permasalahan yang ingin diteliti adalah kurang optimalnya kecepatan dari alat angkut dikarenakan geometri jalan dan daya dukung tanah pada jalan tambang masih belum memenuhi standar yang ada.

## METODOLOGI

### Tahap Pengolahan dan Analisa Data

Pengambilan data yang dilakukan meliputi profil jalan angkut tambang, Geometri jalan angkut tambang, CBR tanah dasar (*subgrade*) aktual lapangan jalan angkut, *Rolling* dan *Grade Resistance*, Kecepatan Aktual Alat Angkut.

Tahap pengolahan data yang didapatkan di lokasi penelitian. Data yang didapatkan tersebut kemudian akan dikelompokkan sesuai kategori agar dapat lebih memudahkan dalam melakukan analisa data nantinya. Data tersebut disajikan dalam bentuk tabel, grafik, atau perhitungan penyelesaian dimana nantinya akan didapatkan beberapa data seperti, geometri aktual, rata-rata CBR aktual.

Hasil pengolahan data digunakan untuk mengevaluasi jalan angkut apakah sudah sesuai dengan spesifikasi alat angkut yang digunakan. Hasil analisa kemudian akan dibuat ke dalam suatu rekomendasi sebagai solusi dari permasalahan yang terjadi.

### Geometri Jalan Angkut Tambang

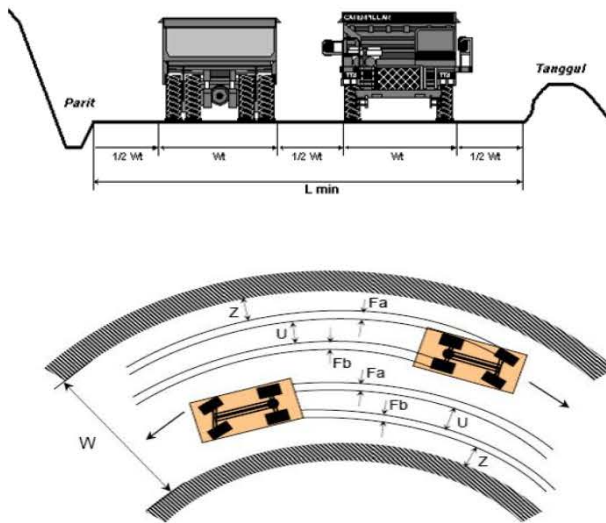
Secara umum jalan angkut berfungsi untuk menunjang kelancaran dalam operasi penambangan khususnya dalam kegiatan transportasi atau pengangkutan.

Kondisi jalan yang dapat mempengaruhi kegiatan pengangkutan dapat diatasi dengan melakukan perubahan pada *design* atau rancangan jalan tersebut.

Adapun faktor – faktor yang harus diperhatikan adalah lebar jalan angkut tambang, *superelevasi*, *cross slope* serta kemiringan jalan

### 1. Lebar Jalan Angkut

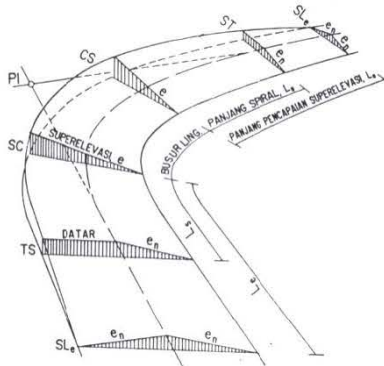
Lebar jalan angkut pada kondisi lurus maupun tikungan berbeda, dikarenakan pada saat tikungan kendaraan memerlukan ruang gerak yang lebih besar agar tidak melebar melebihi dari lebar jalan pada tikungan yang ada.



Gambar-2. Lebar Jalan Angkut pada Belokan

### 2. Superelevasi

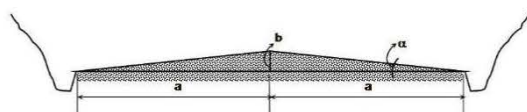
Merupakan kemiringan jalan yang terdapat pada belokan atau tikungan. *Superelevasi* erat kaitannya dengan jari-jari tikungan maupun kecepatan dari kendaraan yang melintasinya.



Gambar-3. Perubahan Kemiringan Melintang pada Tikungan

### 3. Cross Slope

Merupakan kemiringan jalan pada jalan lurus dikarenakan perbedaan ketinggian pada sisi permukaan jalan. Secara umum jalan angkut mempunyai bentuk permukaan melintang yang cenderung berbentuk cembung.



KETERANGAN:

- 1 Permukaan jalan angkut
- 2 Bidang horizontal
- a Jarak horizontal
- b Tinggi vertikal pada poros memanjang jalan
- alpha Cross slope

Gambar-4. Kemiringan Jalan pada Jalan Lurus

Untuk mengetahui besar *cross slope* pada jalan angkut digunakan rumus :

$$\text{Cross Slope } (\alpha) = \frac{b}{a} \quad (1)$$

### 4. Kemiringan Jalan Angkut (Grade)

Merupakan suatu tanjakan pada jalan angkut dimana tingkat kecuraman maupun kelandaian dari tanjakan tersebut akan berpengaruh terhadap produksi dari alat angkut. Hal ini dikarenakan adanya tahanan pada tanjakan (*grade resistance*) yang harus diatasi oleh mesin dari alat angkut akibat tanjakan pada jalan tersebut.

$$\text{Grade } (\alpha) = \frac{\Delta h}{\Delta x} \times 100\% \quad (2)$$

### Daya Dukung Tanah

Daya dukung tanah berkaitan dengan jenis tanah, tingkat kepadatan, kadar air, kondisi drainase dan lain-lain.

Jika terjadi perubahan pada kadar air, tanah yang memiliki tingkat kepadatan yang cukup tinggi akan mengalami perubahan volume yang kecil sehingga nilai daya dukungnya lebih besar daripada tanah sejenis yang memiliki tingkat kepadatan yang lebih rendah.

#### 1. CBR (*California Bearing Ratio*)

CBR terbagi menjadi beberapa macam jika dilihat dari cara mendapatkan contoh tanahnya, antara lain :

##### a. CBR Lapangan

Merupakan nilai CBR asli di lokasi pengambilan data, sesuai dengan kondisi tanah dasar pada saat pengambilan data.

##### b. CBR Lapangan Rendaman

Merupakan nilai CBR asli di lokasi pengambilan data dimana kondisi tanah dasar pada keadaan jenuh air dan mengalami pengembangan (*swell*) maksimal.

##### c. CBR Rencana Titik

Merupakan nilai CBR pada konstruksi jalan baru dimana tanah tersebut sudah dipadatkan dan tingkat kepadatannya mencapai 95% dari kepadatan maksimum tanah tersebut.

### 2. Distribusi Beban

Dalam setiap perhitungan, beban roda terbesar merupakan dasar acuan dari kesesuaian antara nilai daya dukung tanah dengan beban yang melintasinya.

Apabila tanah dasar sudah mendukung beban dari roda terbesar maka beban pada roda yang lebih kecil tidak perlu diperhitungkan lagi.

$$\text{Beban yang diterima permukaan jalan} = \frac{\text{Berat Pembebanan Pada Roda}}{\text{Contact Area}} \quad (3)$$

### 3. Tahanan Gulir (*Rolling Resistance*)

Merupakan suatu tahanan pada roda yang disebabkan oleh adanya gaya luar yang berlawanan arah gerak roda ketika alat tersebut sedang beroperasi di atas suatu lintasan.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### Pengolahan Data

#### 1. Geometri Jalan Angkut

Adapun geometri jalan yang diamati pada penelitian ini meliputi lebar jalan, *superelevasi*, tinggi tanjakan atau kemiringan jalan (*grade*) dan kemiringan melintang (*cross slope*).

### a. Lebar Jalan Tambang

Lebar jalan tambang terdiri atas lebar jalan lurus dan lebar jalan pada tikungan.

**Tabel-1.** Data Pengukuran Lebar Jalan

| Segmen | Lebar Jalan (m) |
|--------|-----------------|
| A – B  | 27.8            |
| B – C  | 26.7            |
| C – D  | 24.2            |
| D – E  | 33              |
| E – F  | 48.1            |
| F – G  | 25              |
| G – H  | 31.8            |
| H – I  | 34              |
| I – J  | 36              |
| J – K  | 35.3            |
| K – L  | 28              |
| L – M  | 31              |
| M – N  | 30              |
| N – O  | 25              |

### b. Superelevasi

Adapun data yang didapatkan dari hasil perhitungan *superelevasi* adalah :

**Tabel-2.** Data Perhitungan *Superelevasi* Jalan Angkut

| Segmen | <i>Superelevasi</i> (%) |
|--------|-------------------------|
| F – G  | 1,04                    |
| G – H  | 0,95                    |
| H – I  | 0,67                    |
| I – J  | 1,50                    |
| J – K  | 2,23                    |

### c. Kemiringan Jalan Angkut (*Grade*)

Adapun hasil perhitungan kemiringan jalan angkut (*Grade*) adalah :

**Tabel-3.** Data Perhitungan Kemiringan Jalan Angkut (*Grade*)

| Segmen | Elevasi (m) |       | Jarak Datar (m) | Lebar Jalan (m) | Grade (%) |
|--------|-------------|-------|-----------------|-----------------|-----------|
|        | A           | A'    |                 |                 |           |
| A – B  | 64,7        | 73    | 100             | 27.8            | 8,30      |
| B – C  | 73          | 82    | 100             | 26.7            | 9,00      |
| C – D  | 82          | 84,4  | 31              | 24.2            | 7,74      |
| D – E  | 84,4        | 85,4  | 44              | 33              | 2,27      |
| E – F  | 85,4        | 76,8  | 100             | 48.1            | -8,60     |
| F – G  | 76,8        | 73,8  | 50              | 25              | -6,00     |
| G – H  | 73,8        | 72,1  | 44              | 31.8            | -3,86     |
| H – I  | 72,1        | 71,8  | 28              | 34              | -1,07     |
| I – J  | 71,8        | 71,4  | 21              | 36              | -1,90     |
| J – K  | 71,4        | 71,60 | 21              | 35.3            | 0,95      |
| K – L  | 71,6        | 72,6  | 94              | 28              | 1,06      |
| L – M  | 72,6        | 73,3  | 25              | 31              | 2,80      |
| M – N  | 73,3        | 73,4  | 100             | 30              | 0,10      |
| N – O  | 73,4        | 73,6  | 100             | 25              | 0,20      |

### d. Kemiringan Melintang Jalan (*Cross Slope*)

Adapun *cross slope* terbagi menjadi 2 *cross slope* jalan bermuatan dan *cross slope* jalan kosong. *Cross slope* muatan merupakan kemiringan melintang pada segmen lurus dari *loading point* (*front*) menuju ke

disposal, sedangkan *cross slope* kosong merupakan kemiringan melintang pada segmen lurus dari disposal menuju ke *loading point* (*front*).

**Tabel-4.** Data Perhitungan *Cross Slope*

| Segmen | <i>Cross Slope</i> (%) |                |
|--------|------------------------|----------------|
|        | Jalan Bermuatan        | Jalan Kosongan |
| A – B  | 2                      | 5              |
| B – C  | -1                     | 3              |
| C – D  | 4                      | 0              |
| D – E  | 5                      | -2             |
| E – F  | 3                      | 1              |
| K – L  | -2                     | 4              |
| L – M  | 0                      | 5              |
| M – N  | -1                     | 3              |
| N – O  | 1                      | 3              |

## 2. Distribusi Beban

Distribusi beban maksimum adalah besarnya beban yang ditopang oleh jalan sebagai akibat dari aktivitas pengangkutan alat angkut. Alat angkut terbesar yang digunakan adalah Caterpillar OHT 777-D.

Berdasarkan hasil perhitungan distribusi beban dari spesifikasi *dump truck* Caterpillar OHT 777-D, distribusi beban maksimum pada masing-masing roda, yaitu sebesar 13.186,73 lb/ft<sup>2</sup>.

## Pembahasan

### Analisis Standar Geometri Jalan Angkut

Dilihat dari rata-rata nilai geometri jalan angkut, banyak terjadi ketidaksesuaian antara geometri teoritis dan geometri aktual. Hal ini perlu segera diperbaiki agar alat angkut dapat melintas dengan lebih lancar di jalan Amaris - Novotel.

### 1. Lebar Jalan Angkut

Perbaikan lebar segmen jalan yang tidak memenuhi standar berpatokan pada lebar minimal dari alat angkut yang digunakan pada jalan tersebut yaitu Caterpillar OHT 777-D dimana lebar teoritis jalan lurus sebesar 22 m dan pada tikungan sebesar 26,1 m.

**Tabel-5.** Perbandingan Lebar Jalan Teoritis dan Aktual

| Segmen | Lebar Jalan Aktual (m) | Lebar Jalan Minimum (m) | Penambahan Lebar (m) |
|--------|------------------------|-------------------------|----------------------|
| A – B  | 27.8                   | 22                      | 0                    |
| B – C  | 26.7                   | 22                      | 0                    |
| C – D  | 24.2                   | 22                      | 0                    |
| D – E  | 33                     | 22                      | 0                    |
| E – F  | 48.1                   | 22                      | 0                    |
| F – G  | 25                     | 26,1                    | 1,1                  |
| G – H  | 31.8                   | 26,1                    | 0                    |
| H – I  | 34                     | 26,1                    | 0                    |
| I – J  | 36                     | 26,1                    | 0                    |
| J – K  | 35.3                   | 26,1                    | 0                    |
| K – L  | 28                     | 22                      | 0                    |
| M – N  | 31                     | 22                      | 0                    |
| N – O  | 30                     | 22                      | 0                    |



## 2. Superelevasi

*Superelevasi* yang diperbolehkan maksimal 4 %. Nilai *superelevasi* sudah sesuai standar di jalan Novotel, karena tidak ada yang melebihi 4 %.

## 3. Cross Slope

Bentuk *cross slope* di jalan Amaris -Novotel yaitu *double cross slope* dengan nilai 2%, artinya air akan mengalir melewati dua tepi jalan di sisi kosong dan muatan.

## 4. Grade

*Grade* yang tinggi pada jalan tambang selain berpengaruh terhadap penggunaan bahan bakar (*fuel consumption*) dan *cycle time*, juga sangat berpengaruh terhadap keselamatan.

Pengendalian yang dapat dilakukan adalah dengan menurunkan grade dengan melakukan penimbunan atau pemotongan, menambah panjang segmen jalan, membuat alternatif jalan, menambahkan tinggi tanggul untuk mengurangi keparahan jika terjadi kecelakaan.

## Analisis Daya Dukung Jalan Angkut

### 1. Kondisi Jalan

#### a. Kerusakan Jalan Angkut

Selama pengamatan di jalan Amaris - Novotel, ditemukan beberapa kerusakan yang mengindikasikan kurangnya daya dukung tanah terhadap beban yang melewati jalan tersebut. Kerusakan tersebut yaitu permukaan jalan bergelombang (*corrugation*), lubang di jalan angkut (*potholes*). Efek dari kerusakan ini yaitu akan memperlambat kecepatan alat angkut, mempercepat keausan ban, dan menghambat aliran air ketika hujan sehingga memperlambat proses *slippery*. Untuk mengatasi masalah ini maka perlu perbaikan perkerasan jalan agar daya dukung jalan dapat menahan beban yang melintas di atasnya.

#### b. Rolling Resistance

Nilai tahanan gulir (*rolling resistance*) dari jalan Amaris - Novotel yaitu 124 lb/ton. Nilai ini cukup mewakili bahwa jalan tersebut dalam kondisi yang cukup rusak. Hal yang perlu dilakukan untuk memperbaiki jalan tersebut adalah dengan meratakan permukaan jalannya menggunakan alat mekanis *motor grader* atau *road grader*. Perbaikan tersebut bertujuan untuk memperkecil nilai tahanan gulir (*rolling resistance*) dan nilai RR yang disarankan untuk nilai tahanan gulir (*rolling resistance*) yang ideal untuk jalan tambang yaitu sebesar 65 lb/ton.

## 2. Distribusi Beban Dum Truck Caterpillar OHT 777D

Berdasarkan pengamatan di lapangan, jenis material tanah jalan Amaris - Novotel termasuk dalam jenis material "*Hard dry consolidated clay*" yang memiliki nilai daya dukung material sebesar 12.000 lb. Jika dibandingkan dengan hasil perhitungan distribusi beban maksimum masing-masing roda alat angkut terbesar Caterpillar OHT 777-D yang lewat di atasnya yaitu sebesar 13.186,73 lb/ft<sup>2</sup>.

Maka, dapat dikatakan jalan tersebut tidak akan dapat menahan beban unit yang melintas di atasnya dan jalan akan cenderung sering rusak pada beberapa segmen tertentu nantinya. Oleh karena itu, perlu adanya perbaikan dan perawatan jalan secara rutin untuk memberikan struktur yang kuat pada jalan dalam mendukung beban lalu lintas tambang.

## 3. CBR Lapangan

Berdasarkan hasil pengujian dan pengolahan data, didapatkan nilai CBR yang kurang baik (< 60 %) pada jalur bermuatan yaitu pada segmen B (45,51 %), segmen N (53,04 %) dan segmen Q (53,94 %). Sedangkan pada jalur kosong yaitu pada segmen B (42,66 %), segmen D (22,95 %), segmen L (48,36 %) dan pada segmen Q (55,15 %).

Adapun saran yang bisa diberikan untuk peningkatan nilai kepadatan tanah dasar (*subgrade*) pada segmen yang memiliki nilai CBR < 60 % sebagai berikut:

- Kupas badan jalan yang mengalami kerusakan sampai lapisan tanah yang cukup keras.
- Tambahkan material baru.
- Lakukan pembentukan geometri badan jalan sesuai standar teoritis (*cross slope, superelevation, drainage, tanggul*).
- Penyiraman air dengan menggunakan *water truck*
- Lakukan pemadatan dengan *compactor*.
- Lakukan uji CBR Lapangan, dan jika belum berhasil mencapai nilai CBR 70%, lakukan pemadatan kembali.

Sedangkan untuk segmen jalan yang memiliki nilai CBR > 60% cukup diberikan atau dilapisi material keras.

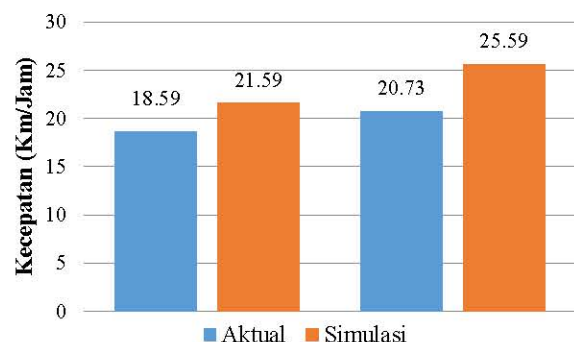
## Simulasi Perbaikan Kecepatan Alat Angkut Setelah Perbaikan Jalan

Berdasarkan analisa perhitungan *rimpull* dengan geometri jalan yang sudah dioptimalkan (ideal) diperoleh kecepatan OHT Caterpillar 777-D pada saat bermuatan dengan rata - rata sebesar 21,59 km/jam dan pada saat tidak bermuatan sebesar 25,59 km/jam.

**Tabel-8.** Selisih Waktu Tempuh Kecepatan Aktual dan Simulasi

| No. | Keterangan    | Jalur Pengangkutan |                 |
|-----|---------------|--------------------|-----------------|
|     |               | Bermuatan          | Tidak Bermuatan |
| 1.  | Kecepatan     | Aktual             | 18,59 km/jam    |
|     |               | Simulasi           | 21,59 km/jam    |
| 2.  | Jarak         | 734 m              | 734 m           |
| 3.  | Waktu Tempuh  | Aktual             | 2,37 menit      |
|     |               | Simulasi           | 2,04 menit      |
| 4.  | Selisih Waktu | 0,33 menit         | 0,40 menit      |

Adapun hasil perbandingan hasil perhitungan antara kecepatan aktual dengan kecepatan setelah dilakukan simulasi perbaikan di jalan Amaris - Novotel dapat dilihat pada gambar-5.



**Gambar-5.** Grafik Perbandingan Kecepatan Aktual dan Simulasi

## KESIMPULAN

Kesimpulan dari penelitian ini antara lain :

1. Geometri aktual di jalan Amaris – Novotel yaitu, lebar jalan lurus sebesar 24,2 m – 48 m, lebar jalan tikungan sebesar 25 m – 36 m, *superelevasi* sebesar 0,67 % – 1,50 %, *cross slope* sebesar -2 % – 5 %, *grade* sebesar -8,60 % – 9 %. Sehingga dapat dikatakan masih adanya segmen yang belum ideal dan memiliki *grade* melebihi dari 8% sesuai standar yang di tetapkan oleh perusahaan.
2. Nilai rata – rata CBR *subgrade* yang didapat dengan DCP (*Dyno Cone Penetrometer*) di Jalan Amaris – Novotel sebesar 70,70 % pada kondisi bermuatan dan sebesar 69,44 % pada kondisi kosong.
3. Perencanaan geometri jalan angkut yang sesuai untuk *dump truck* Caterpillar OHT 777- D adalah lebar jalan lurus 22 m, lebar jalan tikungan 26 m, *superelevasi* maksimum 4 %, *cross slope* maksimum 4 %, *grade* maksimum 8%.
4. Selisih waktu tempuh yang didapatkan berdasarkan kecepatan aktual dan simulasi yaitu untuk jalur bermuatan adalah sebesar 0,33 menit dan jalur tidak bermuatan sebesar 0,40 menit.
5. Adapun faktor – faktor yang mempengaruhi daya dukung tanah yang tidak memenuhi standar pada jalan tambang, yaitu sebagai berikut:
  - a. Beban alat angkut melebihi kapasitas daya dukung tanah jalan.
  - b. Karena lapisan jalan tidak adanya perkerasan.
  - c. Proses pemadatan jalan yang tidak maksimal.
  - d. *Superelevasi* dan *cross slope* belum memenuhi standar, mengakibatkan air akan tergenang di badan jalan.
  - e. Konsentrasi lintasan kendaraan pada jalan secara berulang-ulang

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] Anonim, 1998. *Mine Road Design Manual*. BHP Engineering Brisbane, Australia.
- [2] Anonim, 2000. *777-D Off-High Truck Specifications Handbook*, Peoria, Illinois, U.S.A.
- [3] Indonesianto, Y., 2008, *Pemindahan Tanah Mekanis*, Jurusan Teknik Pertambangan UPN “Veteran”, Yogyakarta.
- [4] Sukirman, S. 2004, *Dasar-dasar Perencanaan Geometrik Jalan*, NOVA, Bandung.
- [5] Sukirman, S. 2004. *Perkerasan Lentur Jalan Raya*. NOVA. Bandung.
- [6] Suwandhi, A., 2004, *Diktat Perencanaan Tambang Terbuka seri Perencanaan Jalan Tambang*, Universitas Islam Bandung, Bandung.
- [7] Wedhanto, S., 2009, *Diktat Kuliah Alat Berat dan Pemindahan Tanah Mekanis*, Jurusan Teknik Sipil Universitas Negeri Malang.