

Kajian Pengaruh *Grade Resistance* dan *Rolling Resistance* terhadap Produktivitas Pengangkutan Overburden di PT. Timah (Persero), Tbk Kecamatan Pemali, Kabupaten Bangka, Provinsi Kepulauan Bangka Belitung

The Study of Grade Resistance and Rolling Resistance's Influence toward the Productivity of Overburden Carriage in PT. Timah (PERSERO), Tbk Kecamatan Pemali, Kabupaten Bangka Provinsi Kepulauan Bangka Belitung

¹M. Fairuz Nafis, ²Zaenal, ³Dono Guntoro

^{1,2,3}*Prodi Pertambangan, Fakultas Teknik, Universitas Islam Bandung,
Jl. Tamansari No. 1 Bandung 40116
email: fairuznafis_08@yahoo.com*

Abstract. PT. Timah (Persero) Tbk is a State-Owned Enterprises (SOEs) engaged in the mining industry, especially in the mining of tin. PT Timah (Persero) Tbk has two types of mines based on the location of the mine is mine and offshore mine. Land mine done by making an open pit, while the offshore mining is done by using a suction dredger. Tin mined by PT Timah (Persero) Tbk is an alluvial tin or secondary tin. PT. Timah (Persero) Tbk has several sites one of which is Tambang Besar 1.42 Pemali. TB 1.42 Pemali executed by the contractor, PT. Putra Tongga Samudra under the direct supervision of PT Timah (Persero) Tbk. TB 1.42 Pemali has a target of stripping the cover or mud at 2.016.880 BCM per year and the production of tin at BCM with cassiterite levels of 40-65% and recovery of 47%. The overburden removal is done on the material in the form of packed mud covering 11,864 hectares at an elevation of -13 to -30 meters above sea level with a natural density of 2.23 gr/cc, and swell factor 0.72. Resettlement activities carried out by an excavator unit Komatsu PC-400 LC-7 (Indonesia) serving nine units Articulated Dump Truck Terex TA 400. The overburden is located at block of May 2016 based on the work plan Production target the removal of overburden by the work plan in 2016 amounted to 386,38 BCM per hour with 200 BCM per hour of shift I. Overburden production with the current state of 193,436 BCM per hour. Problems that occur in overburden removal activities are not achieving target production and the frequent occurrence of slip on a conveyance on road segments 10 and 11, thus inhibiting production. In an effort to increase production needed to do the engineering for slope and type. Engineering road freight carried on the slope aspect and type of road. Correlation coefficient of grade toward production of conveyance equipment is -0,9736. Correlation coefficient of road type toward production of conveyance equipment is -0,9926. Engineering types of roads is done by changing the type of road into the road with pavement soil and rock are well maintained (rolling resistance 2%), so that production increased by 11.32%. Engineering slope of the road is done at segment 10 into 6,69° (11,72%) at first slope is 7,69° (13,55%), so that production increased by 0,13%.

Keywords: Production, Excavator Komatsu PC-400 LC-7, Articulated Dump Truck Terex TA 400, Density, Swell Factor, Slope and Type of Road Engineering, Correlation Coefficient

Abstrak: PT. Timah (Persero) Tbk merupakan Badan Usaha Milik Negara (BUMN) yang bergerak dibidang industri pertambangan khususnya pada kegiatan penambangan timah. PT Timah (Persero) Tbk memiliki dua jenis tambang berdasarkan lokasi penambangannya yaitu tambang darat dan tambang laut atau lepas pantai. Tambang darat dilakukan dengan pembuatan open pit, sedangkan tambang lepas pantai dilakukan dengan penghisapan menggunakan kapal keruk. Timah yang ditambang oleh PT. Timah (Persero) Tbk merupakan endapan timah alluvial atau timah sekunder. PT. Timah (Persero) Tbk memiliki beberapa site panambangan salah satunya Tambang Besar 1.42 Pemali. TB 1.42 Pemali dijalankan oleh pihak kontraktor yaitu PT. Putra Tongga Samudra di bawah pengawasan langsung oleh PT. Timah (Persero) Tbk. TB 1.42 Pemali memiliki target pengupasan tanah penutup atau lumpur sebesar 2.016.880 BCM per tahun dan produksi timah sebesar BCM dengan kadar kasiterit sebesar 40-65 % dan recovery 47 %.Pemindahan tanah penutup dilakukan pada material berupa lumpur tertekan seluas 11,864 Ha pada elevasi -13 sampai -30 mdpl dengan densitas alami 2,23 gr/cc, dan swell factor 0,74. Kegiatan pemindahan tanah penutup dilakukan oleh satu unit excavator Komatsu PC-400 LC-7 (Indonesia) yang melayani sembilan unit Articulated Dump Truck Terex TA 400. Tanah Penutup yang dipindahkan terletak pada blok Mei 2016 berdasarkan rencana kerja. Target produksi pemindahan tanah penutup berdasarkan rencana kerja tahun 2016 sebesar 386,38 BCM per jam dengan target produksi shift I sebesar 200 BCM per jam. Produksi tanah penutup dengan kondisi saat ini sebesar 193,436 BCM per jam. Permasalahan yang terjadi pada kegiatan pemindahan tanah penutup adalah belum tercapainya

target produksi, sehingga menghambat produksi. Dalam upaya peningkatan produksi perlu dilakukannya rekayasa terhadap kemiringan dan jenis jalan. Rekayasa jalan angkut dilakukan pada aspek kemiringan dan jenis jalan. Koefisien korelasi kemiringan terhadap produksi alat angkut sebesar $-0,9736$. Koefisien korelasi jenis jalan terhadap produksi alat angkut sebesar $-0,9926$. Rekayasa jenis jalan dilakukan dengan mengganti material jalan menjadi jalan dengan perkerasan tanah dan batu yang terpelihara dengan baik (tahanan gulir 2 %), sehingga produksi meningkat sebesar 11,32%. Rekayasa kemiringan jalan dilakukan pada segmen 10 diturunkan menjadi $6,69^\circ$ (11,72%) dari kemiringan semula $7,69^\circ$ (13,55%), sehingga produksi meningkat sebesar 0,13%.

Kata Kunci: Produksi, Excavator Komatsu PC-400 LC-7, ADT Terex TA 400, Densitas, Swell Factor, Rekayasa Kimiringan, Jenis jalan, Koefisien Korelasi

A. Pendahuluan

Latar Belakang

Industri pertambangan merupakan salah satu sektor ekonomi primer di Indonesia. Industri pertambangan juga merupakan industri yang memiliki karakteristik pada modal dan padat risiko. Padat modal tersebut diartikan dengan pertambangan membutuhkan modal yang sangat besar di awal kegiatannya dengan mendapatkan keuntungan secara berkelanjutan untuk menggantikan modal tersebut sedikit demi sedikit hingga modal tergantikan dan mendapatkan keuntungan. Sedangkan padat risiko diartikan dengan kegiatan penambangan dilakukan dengan menekan biaya atau ongkos produksi hingga sekecil-kecilnya dan mendapatkan untung yang sebesar-besarnya, namun ongkos produksi yang ditekan tersebut tidak mengabaikan faktor keamanan.

Perencanaan produksi merupakan salah satu kegiatan dari perencanaan tambang. Perencanaan produksi secara garis besar dapat digambarkan sebagai skenario terbaik dalam kegiatan operasi produksi tambang yang bernilai ekonomis. Perencanaan produksi salah satunya berkaitan dengan tahanan kemiringan dan tahanan gulir yang diberikan oleh jalan angkut. Produktivitas alat yang dipengaruhi oleh tahanan jalan tersebut secara langsung dapat mempengaruhi produksi tambang. Kajian pengaruh tahanan kemiringan dan tahanan gulir pada alat angkut diharapkan dapat meningkatkan produktivitas alat sehingga meningkatnya produksi tambang dan tercapainya target produksi. Maka dari itu dilakukannya kajian pengaruh tahanan kemiringan dan tahanan gulir pada alat angkut di Tambang Besar 1.42 Pemali PT Timah (Persero) Tbk, Kecamatan Pemali, Kabupaten Bangka, Provinsi Kepulauan Bangka Belitung.

Tujuan Penelitian

1. Mengetahui produktivitas dan produksi alat angkut terhadap jalan angkut yang telah tersedia.
2. Mengetahui dan mengkaji produktivitas dan produksi alat angkut terhadap jalan angkut yang telah dilakukan simulasi perubahan variabel material jalan melalui gradeability curve dan pemilihan skenario terbaik.
3. Mengetahui hubungan antara jenis jalan terhadap produksi alat angkut berdasarkan nilai koefisien korelasi.
4. Mengetahui dan mengkaji produktivitas dan produksi alat angkut terhadap jalan angkut yang telah dilakukan simulasi perubahan variabel kemiringan jalan melalui gradeability curve dan pemilihan skenario terbaik.
5. Mengetahui hubungan antara kemiringan jalan terhadap produksi alat angkut berdasarkan nilai koefisien korelasi.
6. Mengetahui persentase peningkatan nilai produksi alat angkut berdasarkan skenario terbaik pada simulasi perubahan jenis jalan.
7. Mengetahui persentase peningkatan nilai produksi alat angkut berdasarkan skenario terbaik pada simulasi perubahan kemiringan jalan.

B. Landasan Teori

Produksi Alat Angkut

Mekanisme kerja alat angkut terdiri dari beberapa gerakan, yaitu muat, pengangkutan, pencurahan, dan kembali kosong. Gerakan tersebut dapat dijadikan parameter perhitungan produksi pada alat angkut yang diukur sebagai waktu edar (cycle time). Waktu edar pada alat angkut dapat dihitung menggunakan rumus sebagai berikut:

$$C_a = t_l + t_h + t_{dp} + t_e \dots\dots\dots (1)$$

Dimana:

- C_a = Cycle time alat angkut (menit)
- t_l = Loading time atau waktu pengisian muatan (menit)
- t_h = Hauling time atau waktu angkut (menit)
- t_{dp} = Dumping time atau waktu curah (menit)
- t_e = Waktu kembali kosong (menit)

Produksi alat angkut dapat dihitung setelah memperhitungkan nilai produktivitas alat per unit. Produktivitas alat angkut dapat dihitung menggunakan rumus sebagai berikut:

$$P_{a1} = H_m \times \frac{60}{C_a} \times E_a \times FF_m \times n_p \times SF \dots\dots\dots (2)$$

Dimana:

- P_{a1} = Produktivitas alat angkut (BCM/jam/unit)
- E_a = Efisiensi kerja mekanis alat angkut (%)
- FF_m = Faktor pengisian bucket alat muat (%)
- H_m = Kapasitas bucket alat muat (LCM)
- SF = Faktor pengembangan (%)
- n_p = Banyak pemuatan
- C_a = Cycle time alat angkut (menit)

Produksi alat angkut dapat dihitung dengan rumus berikut:

$$P_a = P_{a1} \times n_a \dots\dots\dots (3)$$

Dimana:

- P_a = Produksi alat angkut (BCM/jam)
- P_{a1} = Produktivitas alat angkut (BCM/jam/unit)
- n_a = Jumlah alat angkut

Simulasi Gradeability Curve

Gradeability curve merupakan kurva yang dimiliki oleh setiap alat angkut, dimana kurva tersebut dapat mengetahui kecepatan (travel speed) berdasarkan tahanan jalan dan berat alat. Tahanan jalan terdiri dari penjumlahan tahanan kemiringan dan tahanan gulir. Berat alat angkut didapatkan dari timbangan (payload) atau dapat dihitung menggunakan rumus berikut:

$$W_l = W_e + (H_m \times n \times FF \times \rho) \dots\dots\dots (4)$$

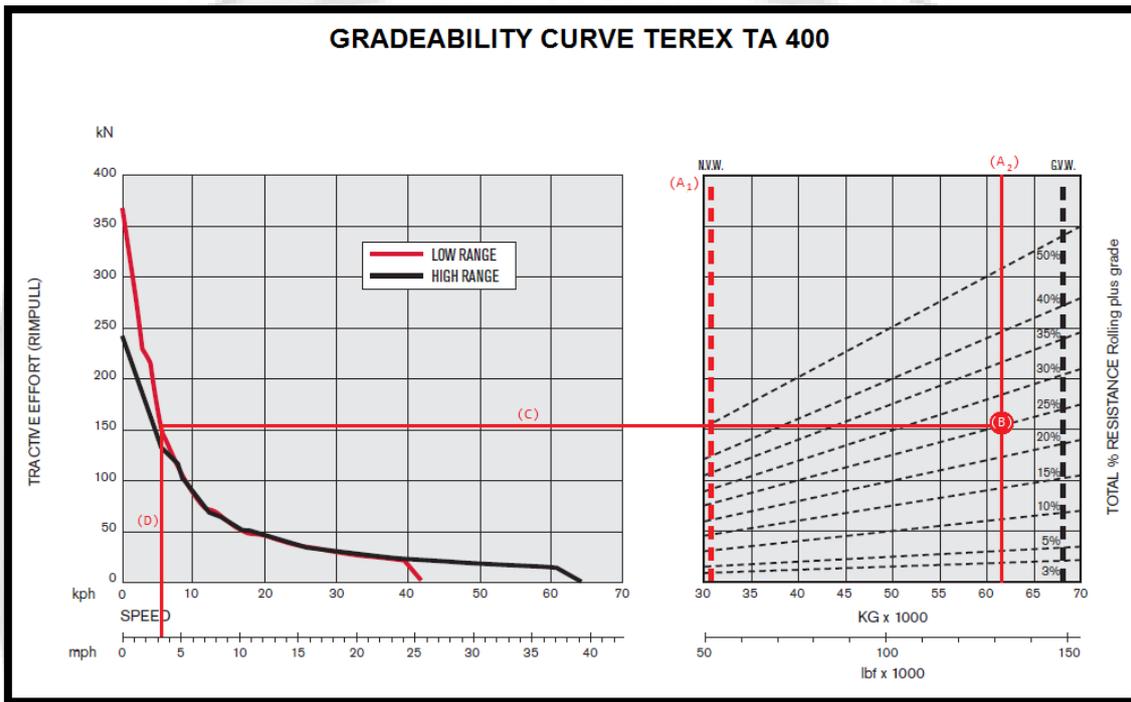
Dimana:

- W_l = Berat terisi (Ton)
- W_e = Berat kosong (Ton)
- H_m = Kapasitas bucket (LCM)
- n = Jumlah pengisian
- FF = Fill Factor
- ρ = Densitas (Ton/m³)

Mengetahui kecepatan (travel speed) alat angkut melalui gradeability curve dapat

dilakukan dengan tahapan berikut:

1. Tarik dua garis vertikal pada bagian berat kendaraan. Garis tersebut menyatakan berat kendaraan dalam keadaan kosong (A1) dan terisi (A2).
2. Tentukan nilai tahanan total (B). Tahanan total terdiri dari penjumlahan tahanan gulir yang didapatkan dari jenis jalan dan tahanan kemiringan yang didapatkan dari konversi terhadap sudut kemiringan jalan.
3. Tarik garis horizontal dari titik perpotongan antara garis vertikal yang menyatakan berat kendaraan dan nilai total tahanan hingga menyentuh garis kurva *rimpull* (C).
4. Tarik garis vertikal ke bawah dari titik perpotongan garis kurva *rimpull* hingga menyentuh garis yang menyatakan kecepatan alat (D).



Gambar 1. Gradeability Curve Terex TA 400

Koefisien Korelasi dan Determinasi

Teknik menghitung koefisien korelasi dapat langsung menggunakan skor asli dari kedua variabel x dan y. Koefisien korelasi menggunakan teknik skor asli dapat dilakukan menggunakan rumus berikut:

$$r = \frac{\sum xy - (\sum x)(\sum y)}{\sqrt{[(N\sum x^2) - (\sum x^2)][(N\sum y^2) - (\sum y^2)]}} \dots\dots\dots(5)$$

Koefisien determinasi diartikan sebagai besarnya kemampuan semua variabel bebas dalam menjelaskan varians dan variabel terikat. Koefisien determinasi secara sederhana dihitung dengan mengkuadratkan koefisien korelasi (r). Koefisien determinasi dapat –dihitung menggunakan rumus berikut:

$$r^2 = \frac{S_t - S_r}{S_t} \dots\dots\dots(6)$$

- Dimana:
- r² = Koefisien determinasi
 - St = Standar taksiran
 - Sr = Pengujian persamaan

C. Hasil penelitian

Geometri Jalan Angkut

Geometri jalan angkut hasil pemetaan dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Geometri Jalan Angkut

Segmen	Jarak Datar (m)	Kemiringan (°)	Jarak Miring (m)	Lebar (m)
1	80	2,83	80,14	23,32
2	83,5	6,35	84,04	17,98
3	100,3	2,22	100,41	16,00
4	76,4	4,67	76,68	16,75
5	118,47	2,66	118,67	13,15
6	105,4	2,85	105,53	12,80
7	14,74	8,36	14,90	17,75
8	138,02	0,86	138,05	19,79
9	129,5	0,20	129,50	19,12
10	122,8	7,69	123,91	16,73
11	81,44	5,69	81,90	12,90
12	97,83	1,27	97,86	13,42

1. Kondisi Material

Material yang dipindahkan dari *loading point* (blok Mei 2016) ke disposal area berupa lumpur tertekan dengan densitas sebesar 2,238 gr/cc. Faktor pengembangan material sebesar 76,26% dan faktor pengisian material pada alat muat sebesar 104,785%.

2. Efisiensi Kerja

Waktu kerja produktif dalam satu shift sebesar 48 menit. Total waktu hambatan rata-rata yang terjadi sebesar 115,51 menit. Efisiensi kerja didapatkan sebesar 75,94%.

3. Produksi Alat Angkut Kondisi Aktual

Waktu edar alat angkut berdasarkan perhitungan menggunakan rumus (1) didapatkan sebesar 21,67 menit. Produktivitas alat angkut berdasarkan perhitungan menggunakan rumus (2) didapatkan sebesar 21,493 BCM/jam/unit. Produksi alat angkut berdasarkan perhitungan menggunakan rumus (3) didapatkan sebesar 193,436 BCM/jam.

4. Produksi Hasil Simulasi *Gradeability Curve*

Berat kosong alat angkut berdasarkan spesifikasi alat sebesar 31,39 Ton. Berat terisi alat angkut berdasarkan perhitungan menggunakan rumus (4) didapatkan sebesar 61,41 Ton.

Simulasi *gradeability curve* dilakukan pada kondisi aktual, perubahan kemiringan dan perubahan jenis jalan. Simulasi kondisi aktual dilakukan untuk mendapatkan faktor koreksi produksi hasil simulasi perubahan kemiringan dan jenis jalan. Produksi hasil simulasi kondisi aktual didapatkan sebesar 269,733 BCM/jam, sehingga faktor koreksi produksi hasil simulasi sebesar 71,71%.

Simulasi perubahan kemiringan jalan angkut dilakukan pada segmen 10, dengan kemiringan awal 7,69°. Produksi hasil simulasi kemiringan jalan menggunakan *gradeability curve* dapat dilihat pada tabel 2.

Tabel 2. Produktivitas dan Produksi Alat Angkut Hasil Simulasi Perubahan Kemiringan Jalan

Kondisi	Waktu Edar (menit)	Produktivitas (BCM/jam)	Produksi (BCM/jam)
Simulasi 1 (Kemiringan 7,69°)	15,54	29,970	269,733
Simulasi 2 (Kemiringan 6,69°)	15,52	30,009	270,081

Simulasi 3 (Kemiringan 5,69°)	15,57	29,913	269,213
Simulasi 4 (Kemiringan 4,69°)	15,78	29,514	268,868

Simulasi perubahan jenis jalan angkut dilakukan pada seluruh segmen jalan. Simulasi dilakukan terhadap jalan dengan tahanan gulir sebesar 2%, 3% dan 8%. Produksi hasil simulasi jenis jalan menggunakan *gradeability curve* dapat dilihat pada tabel 3.

Tabel 3. Produktivitas dan Produksi Alat Angkut Hasil Simulasi Perubahan Jenis Jalan

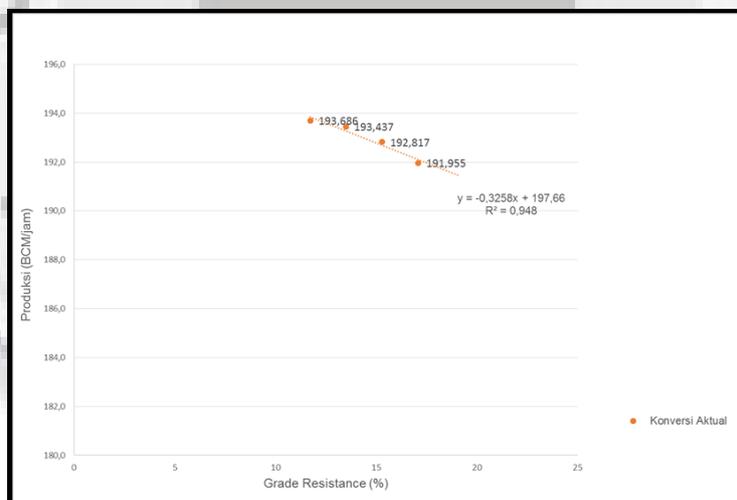
Kondisi	Waktu Edar (menit)	Produktivitas (BCM/jam)	Produksi (BCM/jam)
Simulasi 5 (RR 8%)	17,13	27,189	244,697
Simulasi 6 (RR 3%)	14,73	31,618	284,566
Simulasi 7 (RR 2%)	13,96	33,362	300,262

5. Hubungan Tahanan Kemiringan terhadap Produksi

Hubungan tahanan kemiringan terhadap produksi dihitung secara statistik menggunakan persamaan regresi linear sederhana. Perhitungan menggunakan regresi linear sederhana dilakukan berdasarkan penilaian data kemiringan terhadap produksi yang cenderung membentuk garis lurus (linear) (Tabel 4).

Tabel 4. Produksi Alat Angkut Hasil Simulasi Perubahan Kemiringan Jalan

Kondisi	Produksi Simulasi (BCM/jam)	Produksi Real (BCM/jam)
Simulasi 2 (Kemiringan 6,69°)	271,832	194,942
Simulasi 1 (Kemiringan 7,69°)	269,733	193,437
Simulasi 3 (Kemiringan 8,69°)	268,868	192,817
Simulasi 4 (Kemiringan 9,69°)	267,666	191,955



Gambar 2. Grafik Hubungan Kemiringan Jalan terhadap Produksi Alat Angkut

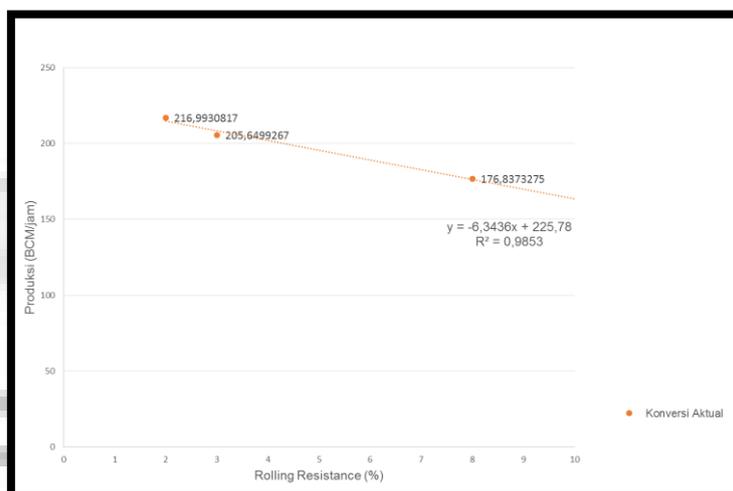
Hubungan tahanan kemiringan terhadap produksi dinyatakan dengan persamaan $y = 197,66 - 0,3268x$ dengan koefisien korelasi sebesar $-0,9736$.

6. Hubungan Tahanan Gulir terhadap Produksi

Hubungan tahanan gulir terhadap produksi dihitung secara statistik menggunakan persamaan regresi linear sederhana. Perhitungan menggunakan regresi linear sederhana dilakukan berdasarkan penilaian data tahanan gulir terhadap produksi yang cenderung membentuk garis lurus (linear) (Tabel 5).

Tabel 5. Produksi Alat Angkut Hasil Simulasi Perubahan Jenis Jalan

Kondisi	Waktu Edar (menit)	Produktivitas (BCM/jam)	Produksi (BCM/jam)
Simulasi 5 (RR 8%)	17,13	27,189	244,697
Simulasi 6 (RR 3%)	14,73	31,618	284,566
Simulasi 7 (RR 2%)	13,96	33,362	300,262

**Gambar 3.** Grafik Hubungan Tahanan Gulir terhadap Produksi Alat Angkut

Hubungan tahanan kemiringan terhadap produksi dinyatakan dengan persamaan $y = 225,78 - (6,3436RR)$, dengan koefisien korelasi sebesar $-0,9926$.

D. Kesimpulan dan Saran

1. Produktivitas alat angkut sebesar 21,493 BCM/jam/unit dan produksi sebesar 193,437 BCM per jam terhadap jalan angkut yang telah tersedia.
2. Produksi alat angkut terhadap jalan angkut yang telah dilakukan rekayasa jenis jalan adalah 215,330 BCM per jam untuk jenis jalan perkerasan tanah dan batu terpelihara baik (RR 2%), 204,074 BCM per jam untuk jenis jalan tanah urug kering pemadatan sederhana (RR 3%) dan 173,482 BCM per jam untuk jenis jalan tanah urug lunak penetrasi 4 inch (RR 8%). Skenario terbaik yang dipilih adalah dengan melakukan perubahan pada jenis jalan di seluruh segmen menjadi jenis jalan perkerasan tanah dan batu terpelihara baik (RR 2%).
3. Hubungan antara tahanan gulir terhadap produksi adalah berbanding terbalik dalam kategori sangat kuat atau sempurna, dimana semakin besar tahanan gulir yang diberikan jalan, maka semakin kecil produksi yang dihasilkan. Hubungan tersebut dapat dilihat melalui nilai koefisien korelasi sebesar $-0,9926$.
4. Produksi alat angkut terhadap jalan angkut yang telah dilakukan rekayasa kemiringan jalan pada segmen jalan 10 adalah 194,942 BCM per jam untuk kemiringan $6,69^\circ$ (11,72%), 193,437 BCM per jam untuk kemiringan $7,69^\circ$ (13,50%), 192,817 BCM per jam untuk kemiringan $8,69^\circ$ (15,28%) dan 191,955 BCM per jam untuk kemiringan $9,69^\circ$ (17,08%). Skenario terbaik yang dipilih adalah dengan melakukan perubahan pada kemiringan jalan di segmen 10 menjadi $6,69^\circ$ (11,72%).
5. Hubungan antara tahanan kemiringan terhadap produksi adalah berbanding terbalik dalam kategori sangat kuat atau sempurna, dimana semakin besar tahanan

- kemiringan yang diberikan jalan, maka semakin kecil produksi yang dihasilkan. Hubungan tersebut dapat dilihat melalui nilai koefisien korelasi sebesar -0,9736.
6. Peningkatan produksi alat angkut berdasarkan skenario terbaik perubahan jenis jalan adalah sebesar 11,32% dari nilai produksi sebenarnya pada kondisi lapangan.
 7. Peningkatan produksi alat angkut berdasarkan skenario terbaik perubahan kemiringan jalan adalah sebesar 0,13 % dari nilai produksi sebenarnya pada kondisi lapangan.

Daftar Pustaka

- Anonim (a), 2007, "Komatsu Hand Book Specification Edition 28", Komatsu, Inc : USA
- Anonim (b), 2010, "Terex Hand Book Specification Edition 9", Terex, Equipment Ltd : USA
- Anonim (c), 2015, "Laporan Kajian Teknis TB 1.42 Pemali", PT Timah (Persero) Tbk : Pemali
- Arora, K. R., 19 "Soil Mechanics and Foundation Engineering", Engineering Collage : Kota Praj
- Astawa Rai Made, DR. Ir, "Mekanika Batuan", Laboratorium Geoteknik, Institut Teknologi Bandung, 1988
- Calvin, J. Konya dan Walter, Edward. J, 1990, "Surface Blast Design", Prentice Hall : New Jersey
- Mangga, S. Adi dan Djamal, B, 1994, "Peta Geologi Regional Lembar Bangka Utara Sumatera Skala 1:250.000", Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi : Bandung
- Peurifoy, R.L., 1956, "Construction Planning, Equipment and Methodes, Second Edition", Mc Graw Hill Kogashuka, Ltd : Tokyo, Singapura, Sydney
- Pileider, E.F., 1956, "Surface Mining First Edition", The American Institute of Mining, Metallurgical, and Petroleum Engineers, Inc
- Prodjosumarto, Partanto, 1993, "Pemindahan Tanah Mekanis", Institut Teknologi Bandung : Bandung
- Sudjana, 2000, "Metode Statistik Edisi ke-6", Tarsito
- Susetyo, Budi, 2009, "Statistika Untuk Analisis Data Penelitian", Revika Aditama : Bandung
- Tenriajeng, Andi Tenrisuki, 198, "Pemindahan Tanah Mekanis", Penerbit : Gunadarma
- W. Martin, James, 1982, "Surface Mining Equipment", Martin Consultant, Inc : Colorado