

OPTIMASI KEMAMPUAN PRODUKSI ALAT BERAT DALAM RANGKA PRODUKTIFITAS DAN KEBERLANJUTAN BISNIS PERTAMBANGAN BATUBARA: STUDI KASUS AREA PERTAMBANGAN KALIMANTAN TIMUR

Alloysius Vendhi Prasmoro¹, Sawarni Hasibuan²

¹Program Studi Teknik Industri, Universitas Bhayangkara Jakarta

²Program Studi Magister Teknik Industri, Universitas Mercu Buana, Jakarta

E-mail: vendhi@yahoo.com, sawarni@mercubuana.ac.id

Abstrak

Bisnis pertambangan batubara saat ini dihadapkan pada berbagai tantangan seperti kebijakan pembatasan ekspor, peningkatan nilai tambah produk, dan penurunan harga pasar produk. Agar mampu bersaing, perusahaan pertambangan dituntut untuk meningkatkan produktivitas dan efisiensi serta melakukan perbaikan yang berkesinambungan dalam proses produksinya. Dalam proses penambangan, ketersediaan peralatan *dump truck* dan alat muat akan menentukan keberlangsungan produksi yang berdampak pada produktivitas dan efisiensi. Tujuan penelitian ini adalah melakukan optimasi produksi pada penambangan batubara dalam rangka efisiensi penggunaan peralatan dengan menggunakan metode *match factor*, antrian, dan *linier programming*. Lokasi penelitian dilakukan di area kerja kontraktor pertambangan konsesi PT KTD di Desa Embalut, Kabupaten Kutai Kertanegara, Kalimantan Timur pada bulan Oktober-November 2015. Alat muat yang digunakan adalah lima unit *excavator backhoe* dan 32 unit *dump truck*. Hasil simulasi dengan metode *match factor* dihasilkan kebutuhan optimal *dump truck* sebanyak 26 unit, sementara dengan metode antrian dan *linier programming* sebanyak 25 unit alat angkut. Hasil optimasi produksi dengan metode *linear programming* dihasilkan produktivitas penambangan *overburden* sebesar 1.208 BCM per jam dengan biaya optimum sebesar 0.909 USD/BCM.

Kata kunci: antrian, *linear programming*, *match factor*, optimasi produksi, penambangan batubara.

Abstract

Coal mining business is now faced with various challenges such as export restrictions policy, an increase in value added products, and the decline in market prices of products. To be able to compete, mining companies are expected to increase productivity and efficiency and make continuous improvements in the production process. In the mining process, the availability of equipment and dump truck unloading tool will determine the sustainability of production that have an impact on productivity and efficiency. The purpose of this study was to optimize the production of coal mining in the context of the efficient use of equipment using the match factor, queues, and linear programming. The research location is in the area of the mining concession contractor PT KTD is in the village of Embalut, District Tenggarong Seberang, Kertanegara Kutai Regency, East Kalimantan in October-November 2015. Unloading equipment used backhoe excavator is 5 units and 32 units of dump trucks. The simulation results match factor generated by the method optimal dump truck needs 26 units, while the queuing method and linear programming as much as 25 units of dump truck. The results of production optimization with linear programming method produced mining productivity of 1,208 BCM of overburden per hour with the optimum cost of \$ 0909/BCM.

Keywords: coal mining, linear programming, match factor, production optimize, queuing.

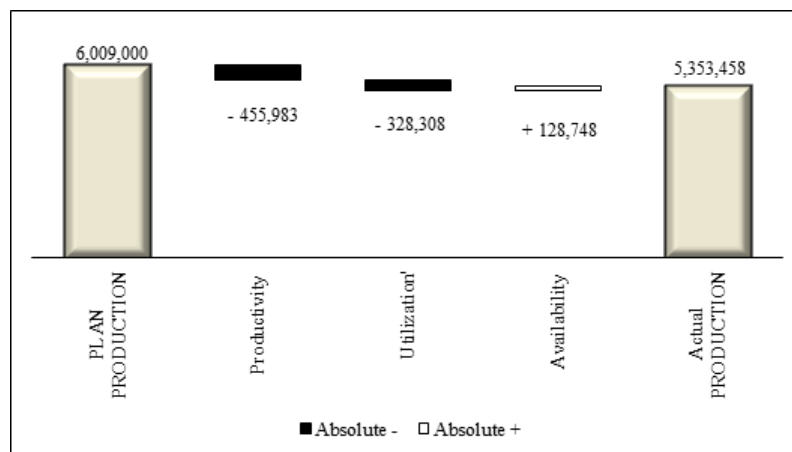
1 Pendahuluan

Industri pertambangan batubara selama ini menjadi sektor industri yang memiliki peran besar dalam mendukung pembangunan nasional. Sektor pertambangan batubara mendukung pembangunan ekonomi regional, menciptakan lapangan kerja, berkontribusi terhadap penerimaan negara, memasukkan devisa melalui ekspor, mendukung elektrifikasi dan ketahanan energi nasional. Namun peran dan keberlangsungan industri pertambangan batubara sangatlah rentan dengan volatilitas harga komoditas dan juga perkembangan ekonomi secara global (APBI, 2012).

Di sisi lain, sejak diberlakukannya Permendag No. 39/M-DAG/PER/7/2014 tentang pembatasan ekspor batubara dalam periode 2015-2030 maksimal 425 juta ton per tahun berdampak terhadap keberlangsungan perusahaan di sektor pertambangan batubara. Karenanya perusahaan penambangan batubara dituntut

untuk meningkatkan produktivitas dan efisiensi, meningkatkan penggunaan teknologi dan melakukan inovasi khususnya yang berkaitan dengan proses operasional. Optimalisasi produksi merupakan salah satu hal yang mendasar guna mencapai hasil produksi yang optimal (Susanti, 2012).

Sebagai salah satu pemilik konsesi tambang batubara di Kalimantan Timur, PT Kitadin (PT. KTD) harus mencapai target produksi *overburden* dan batubara yang telah direncanakan. Pencapaian produksi *overburden* periode Januari-September 2015 sebesar 5.353.458 BCM (*Bank Cubic Metre*) dari rencana total produksi sebesar 6.009.000 BCM atau hanya tercapai 89,1 persen. Tidak tercapainya target produksi tersebut disebabkan oleh belum optimalnya utilisasi dan produktivitas peralatan tambang utama yaitu alat berat *excavator* dan *dump truck* dalam mendukung proses penambangan. Hal ini dapat dilihat dari *waterflow lost opportunity* pada Gambar 1, *lost opportunity* terlihat pada produktivitas dan utilisasi. *Lost opportunity* dari produktivitas sebesar -455,983 BCM sedangkan dari utilisasi sebesar -328,308 BCM, sedangkan *gained opportunity* pada availabilitas sebesar +128,748 BCM (PT RML, 2015).



Gambar 1 *Waterflow loss opportunity* produksi *overburden* periode Januari-September 2015 (Sumber: Departemen Engineering PT RML, 2015).

Produktivitas alat berat yang kurang maksimal dapat merugikan perusahaan. Produktivitas alat berat tergantung pada kapasitas *bucket*, *bucket factor*, *cycle time*, dan faktor koreksi produksi (Sujatmiko, 2015). Optimalisasi produksi di pertambangan bisa dilakukan dengan berbagai cara yaitu melakukan optimalisasi kemampuan produksi alat berat, efisiensi waktu kerja, dan sebagainya (Ilahi *et al.*, 2014). Optimalisasi kemampuan produksi alat berat merupakan faktor yang paling penting mengingat biaya yang dikeluarkan dalam operasional tambang banyak dihasilkan oleh aktivitas operasional alat berat (Rahadian, 2011). Menurut Burt (2008), optimasi produksi dalam penambangan dapat meningkatkan produktivitas. Diantara berbagai metode optimasi dan pemilihan peralatan dan peningkatan produktivitas industri penambangan adalah metode *match factor*, teori antrian, *linear programming*, dan simulasi (Burt, 2008).

Metode *linier programming* paling populer digunakan peneliti untuk mengoptimalkan jadwal produksi (Adadzi, 2013; Franik & Franik, 2009; Kumar, 2014; Morley, 2013; Nel *et al.*, 2011; Newman *et al.*, 2010; Shawki *et al.*, 2009) dan meminimumkan biaya produksi (Adadzi, 2013; Bascetin & Ercelebi, 2009; Franik & Franik, 2009; Morley *et al.*, 2012; Savic & Jancovic, 2006). Beberapa peneliti mengusulkan penggunaan metode antrian untuk mengevaluasi siklus *dump truck* untuk optimasi jadwal produksi (Alkass, 2003; Cetin, 2004; Coronado, 2014; May, 2012). Metode *match factor* digunakan beberapa peneliti untuk menentukan jumlah truk yang optimal (Caccetta & Burt, 2013; Choudhary, 2015; Morley, 2012; Nageshwaraniyer, 2013). Nilai *match factor* lebih dari satu mengindikasikan truk tidak efisien dan tidak produktif karena adanya waktu antri bagi *dump truck* sebaliknya *match factor* kurang dari satu membuat *excavator* lama menunggu *dump truck* (Caccetta & Burt, 2013). Beberapa peneliti mencoba mengkombinasikan metode *linier programming* dan antrian (Bascetin & Ercelebi, 2009; Cetin, 2004; Coronado, 2014; Sahoo, 2012) atau *linier programming* dan *match factor* (Morley, 2012; Nel, 2011).

Penelitian ini mencoba menganalisis optimasi produksi *overburden* pada penambangan batubara di area penambangan PT RML Samarinda, Kalimantan Timur dengan menggunakan metode *match factor*, metode antrian dan metode *linear programming*. Tujuannya adalah ini adalah 1) menentukan perencanaan

kebutuhan *dump truck* yang optimal pada penambangan batubara di PT RML Jobiste KTD, 2) menentukan produksi yang optimal pada penambangan batubara di PT RML Jobiste KTD, dan 3) menentukan biaya produksi minimal pada penambangan batubara di PT RML Jobiste KTD.

2 Kajian Teori

Waktu siklus (Cycle time)

Waktu siklus (*cycle time*) merupakan waktu yang diperlukan suatu alat melakukan kegiatan tertentu dari awal sampai akhir dan siap untuk memulai kembali. Pada setiap kegiatan pemindahan tanah mekanis, alat-alat mekanis bekerja menurut pola tertentu, yang pada prinsipnya terdiri dari beberapa komponen waktu siklus, gerakan dalam satu siklus waktu siklus (Choudhary, 2015).

Waktu siklus *excavator* terdiri dari menggali, mengayun bermuatan, menumpah, mengayun dengan muatan kosong. Adapun waktu siklus *dump truck* terdiri dari waktu diisi hingga penuh oleh *excavator*, mengangkut dengan bak penuh, mengambil posisi untuk penumpahan, menumpahkan material, kembali ke *front* dengan muatan kosong dan mengambil posisi untuk diisi kembali. Berikut persamaan perhitungan waktu siklus *excavator* dan *dump truck*.

$$CT_E = DgT + SLT + Dpt + SET \dots\dots\dots (1)$$

Dimana:

- CT_E : waktu siklus atau *cycle time excavator* (detik)
- DgT : waktu penggalian atau *digging time excavator* (detik)
- SLT : waktu ayun bermuatan atau *swing load time excavator* (detik)
- Dpt : waktu penumpahan material atau *passing time excavator* (detik)
- SET : waktu ayun kosong atau *swing empty time excavator* (detik)

$$CT_{DT} = LT + HLT + SDT + DT + RT + WT + SLT \dots\dots\dots (2)$$

Dimana:

- CT_{DT} : waktu siklus atau *cycle time dump truck* (detik)
- LT : waktu pemuatan material atau *load time dump truck* (detik)
- HLT : waktu pergi bermuatan atau *hauling load time dump truck* (detik)
- SDT : waktu manuver sebelum menumpah atau *spotting dump time dump truck* (detik)
- DT : waktu menumpahkan material atau *dumping time dump truck* (detik)
- RT : waktu kembali tanpa muatan atau *returning time dump truck* (detik)
- QT : waktu antri sebelum pemuatan atau *queueing time dump truck* (detik)
- SLT : waktu manuver sebelum dimuati atau *spotting load time dump truck* (detik)

Produksi Alat Gali Muat (Excavator) dan Alat Angkut (Dump Truck)

Informasi tentang target produksi dan produksi alat berat per unit akan menentukan kebutuhan jumlah alat yang diperlukan sesuai dengan kapasitas, jenis material yang akan ditangani, dan tingkat kemudahan pengoperasian serta perawatannya. Kemampuan produksi *excavator* dapat dihitung dengan menggunakan rumus sebagai berikut:

$$P = 60/CT_m \times C_b \times F_f \times E_k \times S_f \dots\dots\dots (3)$$

Dimana:

- P : produksi alat muat (BCM/jam)
- CT_m : waktu siklus alat muat (menit)
- C_b : kapasitas *bucket* (m³)
- F_f : *bucket fill factor* (%)
- E_k : efisiensi kerja (%)
- S_f : *Swell factor*

Kemampuan produksi *dump truck* dapat dihitung dengan menggunakan rumus sebagai berikut:

$$P = 60/CT_{DT} \times n \times C_b \times F_b \times N \times E_k \times S_f \dots\dots\dots (4)$$

Dimana:

- P : produksi *dump truck* (BCM/jam)
- CT_{DT} : waktu siklus *dump truck* (menit)
- Cb : kapasitas *bucket*, (m³)
- n : banyaknya curah
- Fb : *Bucket fill factor* (%)
- Ek : efisiensi kerja (%)
- N : jumlah *dump truck* (unit)
- Sf : *Swell factor*

Biaya Produksi

Menurut Mohutsiwa dan Musingwini (2015), biaya produksi tambang adalah biaya yang dikeluarkan dari operasional tambang yang dibagi menjadi biaya tetap dan biaya variabel. Biaya tetap meliputi depresiasi, bunga dan perpajakan. Biaya variabel meliputi biaya bahan bakar, biaya perbaikan, dan biaya pekerja. Secara umum biaya produksi dapat diukur dengan biaya total dibagi dengan produksi yang dihasilkan, yang biasanya dengan satuan USD/BCM.

Biaya produksi tersebut dapat dibagi sesuai dengan aktivitas pada proses bisnis suatu perusahaan. Menurut Lind (2001), biaya produksi per aktivitas tersebut sering disebut dengan *Activity Based Costing* (ABC). Dalam pertambangan batubara, *Activity Base Costing* juga umum digunakan. Beberapa contoh *Activity Base Costing* dalam pertambangan batubara khususnya pada operasional seperti pada PT . RML (Engineering RML, 2015).

Faktor Keserasian Alat (Match Factor/MF)

Faktor keserasian biasanya digunakan untuk mengetahui jumlah *dump truck* yang sesuai (serasi) dalam melayani satu unit *excavator* (Burt, 2008). Faktor keserasian *excavator* dan *dump truck* dapat dirumuskan sebagai berikut (Morgan & Peterson, 1968 dalam Burt, 2008):

$$MF = \frac{Na \times Ctm}{Nm \times Cta} \dots\dots\dots (5)$$

Dimana :

- Na : Jumlah *dump truck*
- Nm : Jumlah *excavator*
- Cta : *cycle time dump truck*
- Ctm : *cycle time excavator*

Bila hasil dari perhitungan didapatkan MF < 1 berarti *excavator* akan sering menganggur, jika MF=1 maka *excavator* dan *dump truck* tidak ada yang menganggur, dan jika MF > 1 berarti *dump truck* akan sering menganggur.

Jumlah *dump truck* yang diperlukan untuk melayani satu unit *excavator* dapat diketahui dengan menggunakan rumus faktor keserasian di atas, dengan beberapa asumsi yang harus dilakukan yaitu jumlah alat-gali muat = 1 dan nilai MF = 1. Sehingga rumus di atas dapat disederhanakan menjadi:

$$Na = \frac{Cta}{Ctm} \dots\dots\dots (6)$$

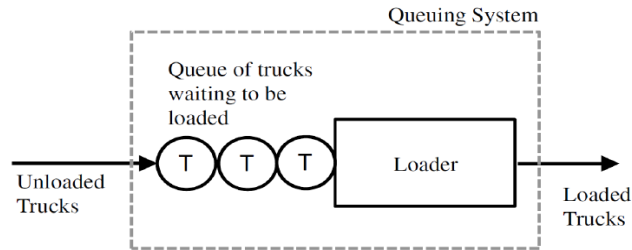
Dimana

- Na : jumlah *dump truck*
- Cta : *cycle time dump truck*
- Ctm : *cycle time excavator*

Metode Antrian

Teori antrian dapat digunakan dalam menganalisis secara statistik biaya *dump truck* dan alat muat yang diperlukan untuk sejumlah truk sehingga jumlah truk optimum dapat ditentukan. Selain itu teori antrian

juga dapat memberikan gambaran mengenai produksi optimum yang bisa dicapai dengan biaya paling minim. Aplikasi teori antrian dapat mengambil contoh sebuah alat muat digunakan untuk melayani beberapa truk, dimana truk ini akan mengangkut muatan ke lokasi tujuan, menumpahkannya, dan kembali ke tempat pemuatan untuk pemuatan selanjutnya (May, 2012). Model antrian dalam pelayanan *dump truck* dapat digambarkan sebagai berikut:



Gambar 2 Sistem antrian alat muat dan dump truck (Sumber: May, 2012)

Berdasarkan teori antrian dapat dilakukan perhitungan nilai probabilitas tidak ada *dump truck* dalam antrian dengan persamaan sebagai berikut (May, 2012).

$$P_0(Na, x) = \frac{e^{-x} x^{Na}}{Na!} = \frac{p(Na, x)}{P(Na, x)} \dots\dots\dots (7)$$

Dimana :

- Po (Na,x) : probabilitas tidak ada truk dalam antrian
- r : rata-rata tingkat kedatangan truk per jam, $r = 1/Ta$
- e : konstanta logaritma natural = 2,71828
- m : rata-rata tingkat pelayanan per jam, $m = 1/Ts$
- Na : jumlah truk dalam armada
- Ta : waktu siklus truk, tidak termasuk waktu *loading* (jam), $1/r$
- x : jumlah truk yang dibutuhkan dalam satu armada, $x = m/r$
- Ts : waktu untuk memuat sebuah truk (jam), $1/m$
- p : $\frac{e^{-x} x^{Na}}{Na!}$
- p : kumulatif *Distribusi Poisson*

Dalam kegiatan penambangan terbuka, *dump truck* bergerak dari *loading point* ke lokasi *dumping* dan kembali, kadang-kadang berhenti untuk istirahat sejenak di *waste dump* atau secara teratur ke *fuel station* dan ke *park up* untuk *shift change*. Pada kondisi lain harus menunggu di *loading point* atau *waste dump* dan antri di *fuel station*. Situasi ini disebabkan variasi dari waktu muat, waktu berjalan bermuatan, waktu buang di *waste dump*, waktu kembali dan berbagai interval waktu antara truk tiba di area tersebut. Adanya perbaikan jalan dan pekerjaan sesuatu oleh alat lain di sepanjang jalan tempuh juga ikut mempengaruhi variasi tersebut (May, 2012).

Waktu tunggu ini akan mengurangi kapasitas produksi. Hal ini akan meningkat jika adanya penambahan unit *dump truck* pada suatu sistem yang ada dan tidak ada perubahan yang dibuat pada sistem tersebut. Contoh, jika tidak ada perubahan pada jarak tempuh truk, penambahan unit tersebut akan menyebabkan produktivitas *dump truck* menurun dan produktivitas *excavator* meningkat. Estimasi waktu tunggu ini merupakan hal yang penting dalam merancang dan memilih alat untuk pit baru serta estimasi dari waktu tempuh truk baik bermuatan maupun kosong (May, 2012).

Besarnya waktu tunggu dapat dilihat pada persamaan berikut:

$$W = [TL + STD + DT + TE] - (N-1)[STL+LT] \dots\dots\dots (8)$$

Dimana:

- W : waktu tunggu
- STD : waktu pengaturan posisi di lokasi pembuangan material

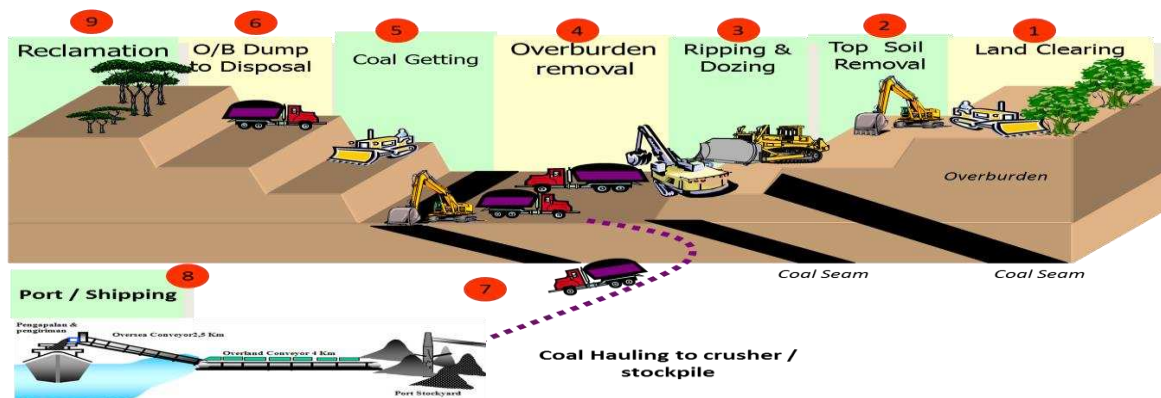
N	: jumlah truk yang dibutuhkan
DT	: waktu pembuangan material
TL	: waktu perjalanan bermuatan
STL	: waktu pengaturan posisi di lokasi pemuatan
TE	: waktu perjalanan kosong
LT	: waktu pemuatan material

3 Metoda

Lokasi penelitian terletak di area kerja kontraktor pertambangan pada konsesi PT KTD yaitu di Desa Embalut, Kecamatan Tenggara Seberang, Kabupaten Kutai Kertanegara, Kalimantan Timur. Lokasi ini bisa ditempuh menggunakan jalan darat dari Balikpapan \pm 2,5 jam perjalanan. Konsesi PT. KTD - Embalut seluas 2.973 Ha. Batas wilayah dengan garis lintang $0^{\circ}18'25,8''$ LS - $0^{\circ}22'30''$ LS sampai pada garis bujur $117^{\circ}5'0''$ BT - $117^{\circ}7'49,9''$ BT. Pada arah utara berbatasan dengan Desa Bangun Rejo dan arah barat berbatasan dengan Desa Embalut.

Kegiatan penambangan yang dilakukan adalah dengan sistem tambang terbuka biasanya tipe ini diterapkan untuk endapan batubara yang mempunyai lapisan tebal dan dilakukan dengan membuat jenjang (*bench*). Tahapan dalam kegiatan penambangan batubara di PT RML adalah (1) pembersihan lahan (*land clearing*), (2) pengupasan tanah pucuk (*top soil removal*), (3) penggaruan dan perataan (*ripping & dozing*), (4) pengupasan lapisan penutup (*overburden removal*), (5) penggalian dan pengangkutan batubara (*coal getting*), (6) pengangkutan overburden ke tempat buang (*overburden to disposal*), (7) pengangkutan batubara ke stock pile/crusher (*coal hauling to crusher/stockpile*), (8) pengangkutan batubara ke port dan pengapalan (*port/shipping*), dan (9) reklamasi seperti dapat dilihat pada Gambar 3.

Data yang digunakan pada penelitian ini terdiri dari data primer dan data sekunder. Data primer pada penelitian ini adalah waktu siklus *excavator* dan waktu siklus *dump truck* diperoleh dari hasil observasi langsung di lapangan. Data sekunder berupa peta lokasi kegiatan, target volume pekerjaan pemindahan tanah penutup batubara, harga sewa *dump truck*, dan data pendukung lain yang berhubungan dengan penelitian ini diperoleh dari perusahaan dan instansi lain yang relevan.



Gambar 3 Kegiatan penambangan (Sumber: Engineering PT RML, 2010).

Pada tahap awal dilakukan uji kesesuaian data (distribusi Poisson), uji kecukupan data, uji normalitas data, dan uji keseragaman data dengan bantuan *software* Minitab 16 dan *IBM SPSS Statistics 20*. Jika hasil pengujian data dinyatakan layak maka tahap selanjutnya adalah pengolahan data dan analisis data mengikuti tahapan berikut ini.

1. Menentukan jumlah *dump truck* yang optimal dengan cara sebagai berikut:
 - a. Menghitung kebutuhan *dump truck* dengan metode *Match Factor*
 - b. Menghitung kebutuhan *dump truck* dengan metode antrian dengan tahapan:
 - a) Model antrian yang digunakan adalah pelayanan tunggal (M/M/1), populasi diasumsikan tidak terbatas dan hanya dilayani oleh 1 buah *excavator* dengan disiplin pelayanan pertama datang pertama dilayani (FCFS = *first come first service*).

- b) Menghitung optimasi jumlah *dump truck* dengan menggunakan teori antrian (M/M/1) sesuai persamaan (7), sedangkan perhitungan waktu tunggu *excavator* digunakan persamaan (8).
 - c. Menghitung jumlah *dump truck* dengan metode *linear programming*
Langkah-langkah pengolahan data dilakukan dengan menentukan variabel keputusan, batasan, dan tujuan. Selanjutnya data diolah dalam program *software POM for Windows*.
2. Menentukan jumlah produksi yang optimal
 - a. Menghitung jumlah produksi optimal dengan metode *match factor*
Berdasarkan jumlah *dump truck* yang optimal dengan metode *match factor*, maka dapat dihitung jumlah produksi totalnya dengan menggunakan persamaan (3) dan (4).
 - b. Menghitung jumlah produksi optimal dengan metode antrian dan *linier programming*
Berdasarkan jumlah *dump truck* yang optimal dengan metode antrian dan linier programming maka dapat dihitung jumlah produksi totalnya. Produksi ideal dapat ditentukan dengan perhitungan dari produktivitas *dump truck* dikalikan dengan jumlah unit.
 3. Menentukan biaya produksi yang minimal
Berdasarkan perhitungan jumlah *dump truck* dan produksi dengan metode *match factor*, antrian dan *linear programming*, maka dapatlah dihitung biaya produksi *dump truck* sesuai dengan biaya alat per jamnya untuk masing-masing metode.

4 Hasil dan Pembahasan

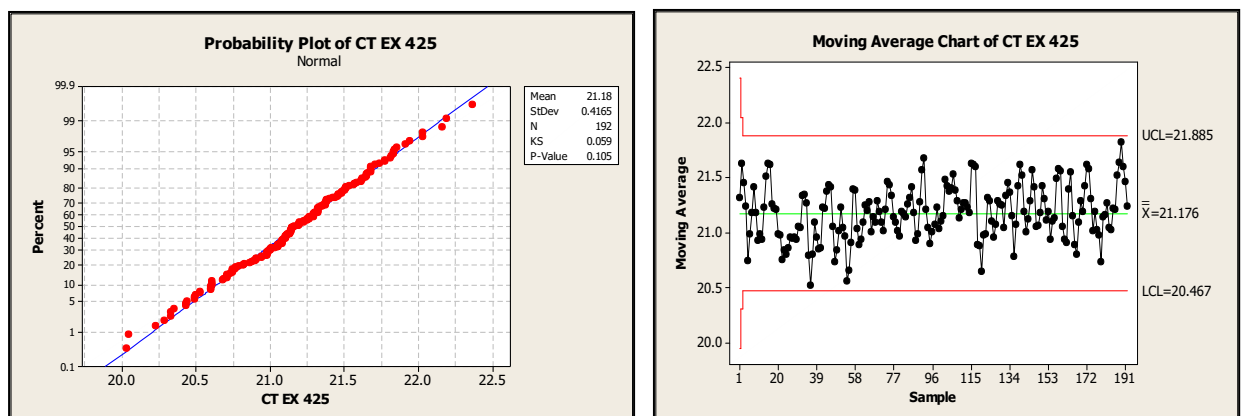
Peralatan Tambang Utama

Semua material dimuat oleh *excavator* (alat muat) dengan alat muat tipe PC 400 merk Komatsu. Material tersebut kemudian diangkut oleh *dump truck* (alat angkut) dengan tipe FM 370 merk Volvo. *Excavator* dan *dump truck* tersebut merupakan peralatan tambang utama dalam kegiatan operasional PT RML. Total *Excavator* sebanyak 6 unit dengan kondisi 5 unit status *ready* (siap kerja) 1 unit status *breakdown* (rusak dalam perbaikan), adapun *dump truck* sebanyak 32 unit dengan kondisi 27 unit *ready* dan 5 unit *breakdown*.

Kapasitas isi *bucket* PC 400 sebesar 2,0 BCM sedangkan *vessel* (bak truk) sebesar 10,80 BCM. Biaya alat *excavator* sebesar 60,8 USD/jam dan alat *dump truck* sebesar 30,5 USD/jam. Target produktivitas unit PC 400 Komatsu sebesar 240 BCM/jam dengan target produksi total per jam adalah 1200 BCM. Target biaya produksi untuk aktivitas pemuatan (loading cost) adalah 0,256 USD/BCM dan untuk aktivitas pengangkutan (*hauling cost*) adalah 0,677 USD/BCM sehingga total biaya produksi pemuatan dan pengangkutan adalah 0,933 USD/BCM. Berdasarkan data yang diperoleh dari Engineering PT RML, asumsi faktor pengisian *bucket* PC 400 Komatsu adalah 90%, *vessel* oleh *excavator* adalah 100%, dan faktor efisiensi kerja *excavator* dan *dump truck* adalah 0,75.

Perhitungan Cycle Time Excavator dan Dump Truck

Cycle time untuk *excavator* dan *dump truck* didapatkan dari hasil pengamatan secara langsung di lapangan. Data *cycle time* tersebut dikumpulkan dan divalidasi melalui uji kecukupan data, keseragaman data dan normalitas data (Wignjosubroto, 2008 dalam Noor, 2011) dengan bantuan *software Minitab 16*. Hasil pengujian menunjukkan bahwa data yang digunakan cukup, seragam dan berdistribusi normal (Gambar 4). Rata-rata *cycle time excavator* dan *dump truck* berturut-turut disajikan pada Tabel 1 dan Tabel 2.



Gambar 4 Hasil uji normalitas dan keseragaman data *cycle time* EX 425 dengan *Minitab16*.
(Sumber: Pengolahan Data, 2016)

Tabel 1 Cycle time rata-rata excavator

Unit	Digging (detik)	Swing Load (detik)	Passing (detik)	Swing Empty (detik)	Total (detik)
EX 425	5.70	5.01	4.94	5.53	21.18
EX 429	5.91	5.82	4.11	4.62	20.47
EX 430	5.61	5.27	5.05	5.79	21.71
EX 431	6.05	5.34	3.36	4.32	19.07
EX 432	6.53	5.81	4.48	4.31	21.12

(Sumber: Pengolahan Data, 2016)

Tabel 2 Cycle time rata-rata dump truck

Unit	Distance (meter)	Queueing Time (detik)	Spotting Load Time (detik)	Loading Time (detik)	Hauling Load Time (detik)	Spotting Dump Time (detik)	Dumping Time (detik)	Returning Time (detik)	Total Cycle Time with Queueing (detik)	Total Cycle Time without Queueing (detik)	Total Cycle Time with Queueing (menit)	Total Cycle Time without Queueing (menit)
EX 425	1800	39.62	10.81	127.06	276.86	18.80	29.63	227.03	729.80	690.19	12.16	11.50
EX 429	1200	21.68	15.43	122.80	220.19	22.81	39.14	146.10	588.14	566.46	9.80	9.44
EX 430	1400	15.19	27.60	130.30	266.04	33.16	35.76	168.82	676.86	661.68	11.28	11.03
EX 431	1300	15.49	35.78	114.42	199.19	20.78	41.12	201.53	628.31	612.82	10.47	10.21
EX 432	1300	27.84	23.22	127.20	195.24	17.92	39.22	207.01	628.31	609.81	10.47	10.16

(Sumber: Pengolahan Data, 2016)

Waktu Tunggu Excavator dan Waktu Antrian Dump Truck.

Data jumlah kedatangan *dump truck* dalam setiap *excavator* di lapangan diuji distribusinya dengan uji kesesuaian (*goodnes of fit*) dengan bantuan *software* IBM SPSS Statistics 20. Hasil pengujian menunjukkan bahwa data kedatangan *dump truck* berdistribusi Poisson (Tabel 3). Semua nilai signifikansi lebih besar dari 0,05 sehingga disimpulkan bahwa semua data kedatangan truk masing-masing *excavator* memiliki distribusi Poisson.

Tabel 3 Hasil pengujian distribusi Poisson

			EX 425	EX 429	EX 430	EX 431	EX 432
N			32	35	31	31	31
Poisson Parameter ^{a,b}	Mean		1.5000	1.3714	1.0323	1.0000	.9032
Most Extreme Differences	Absolute		.191	.225	.227	.239	.212
	Positive		.191	.160	.115	.135	.132
	Negative		-.152	-.225	-.227	-.239	-.212
Kolmogorov-Smirnov Z			1.081	1.332	1.265	1.330	1.179
Asymp. Sig. (2-tailed)			.193	.057	.082	.058	.124

(Sumber: Pengolahan Data, 2016)

Berdasarkan perhitungan dan simulasi yang dilakukan (rumus 13) maka besarnya waktu tunggu optimum setiap armada *dump truck* yang ditempatkan pada setiap lokasi disajikan pada Tabel 4. Pada saat kondisi unit kelebihan *dump truck* maka memungkinkan terjadinya antrian pada masing-masing *excavator*. Waktu antrian *dump truck* dapat dilihat pada Tabel 5.

Tabel 4 Waktu tunggu excavator EX 425

Waktu Pengangkutan (menit)	Waktu Pemuatan (menit)	Jumlah <i>Dump Truck</i> (Unit)	Waktu Tunggu <i>Excavator</i> (menit)
9.21	2.298	1	9.21
9.21	2.298	2	6.91
9.21	2.298	3	4.61
9.21	2.298	4	2.31
9.21	2.298	5	0.01
9.21	2.298	6	-2.28
9.21	2.298	7	-4.58

(Sumber: Pengolahan Data, 2016)

Tabel 5 Waktu antrian aktual *dump truck* di EX 425

No. Unit <i>Excavator</i>	Waktu Antrian <i>Dump Truck</i> (menit)	<i>Cycle Time DT</i> dengan Antrian (menit)	<i>Cycle Time DT</i> Tanpa Antrian (menit)
425	0.66	12.16	11.50
429	0.36	9.80	9.44
430	0.25	11.28	11.03
431	0.26	10.47	10.21
432	0.46	10.63	10.16

(Sumber: Pengolahan Data, 2016)

Perbandingan produksi *overburden* oleh *dump truck* dengan antrian dan tanpa antrian dapat dilihat pada Tabel 6. Potensi peningkatan produksi inilah yang dapat dioptimasi dengan mengurangi waktu antrian.

Tabel 6 Produksi *Dump truck* dengan Antrian dan Tanpa Antrian

No. Unit <i>Excavator</i>	Kapasitas <i>Vessel</i>	Efisiensi DT	Jumlah DT	Produksi <i>DT</i> dengan antrian (menit)	Produksi <i>DT</i> tanpa antrian (menit)
EX 425	10.8	0.75	6	39.96	42.25
EX 429	10.8	0.75	5	49.58	51.48
EX 430	10.8	0.75	6	43.08	44.07
EX 431	10.8	0.75	5	46.41	47.58
EX 432	10.8	0.75	5	45.73	47.82

(Sumber: Pengolahan Data, 2016)

Penentuan Jumlah *Dump Truck* Optimal

Penentuan jumlah *dump truck* yang optimal dievaluasi dengan metode *match factor*, metode antrian dan metode *linear programming*. Jumlah *dump truck* yang optimal ini diharapkan dapat memberikan produksi yang optimal dengan biaya yang seefisien mungkin.

Metode *Match Factor* (MF)

Berdasarkan hasil perhitungan jumlah *excavator*, jumlah *dump truck*, *cycle time excavator* dan *cycle time dump truck* maka dapat dihitung *match factor*. Dengan menggunakan asumsi *match factor* = 1 maka jumlah *dump truck* yang dibutuhkan sebanyak 25 unit sementara aktualnya adalah 27 unit, berarti dapat mengurangi *dump truck* sejumlah 2 unit.

Tabel 7 Simulasi jumlah *dump truck* dengan *Match Factor* 1

No. Unit Excavator	Jumlah DT Aktual (unit)	MF AKTUAL	Kebutuhan Unit DT Simulasi MF = 1	Kebutuhan Unit DT Simulasi MF = 1 (Pembulatan)
EX 425	6	1.10	5.43	5
EX 429	5	1.08	4.61	5
EX 430	6	1.18	5.08	5
EX 431	5	0.93	5.35	5
EX 432	5	1.04	4.80	5
Total	27		25.3	25

(Sumber: Pengolahan Data, 2016)

Metode Antrian

Perhitungan jumlah *dump truck* dengan metode *match factor* tidak memperhitungkan kemungkinan terjadinya waktu antri atau waktu tunggu yang ideal, sehingga untuk mengetahui lebih lanjut mengenai jumlah *dump truck* yang optimal pada masing-masing *excavator* maka diperlukan juga optimasi produksi berdasarkan terjadinya waktu antrian dan waktu tunggu yang terjadi, dengan teori antrian akan didapatkan jumlah alat yang benar-benar optimal.

Waktu tunggu untuk EX 425 diperlihatkan pada Tabel 8, kondisi tanpa waktu tunggu ditunjukkan pada jumlah *dump truck* 6 unit. Dengan demikian jika berdasarkan waktu tunggu maka jumlah *dump truck* yang optimal adalah 6 unit. Apabila dilakukan perhitungan waktu tunggu untuk semua *excavator* maka dapat ditentukan jumlah *dump truck* masing-masing *excavator* dan total *dump truck* keseluruhan. Hasil perhitungan jumlah *dump truck* optimal berdasarkan waktu tunggu dapat dilihat pada Tabel 9. Dengan demikian berdasarkan waktu tunggu, jumlah *dump truck* optimal adalah 26 unit.

Tabel 8 Waktu tunggu untuk excavator EX 425

Jumlah DT	Po	1-Po	Waktu Tunggu (menit)	Produksi (BCM/jam)
0	1.0000	0.0000		
1	0.7918	0.2082	9.21	47.78
2	0.6159	0.3841	6.91	88.15
3	0.4571	0.5429	4.61	124.60
4	0.3201	0.6799	2.31	156.05
5	0.2089	0.7911	0.01	181.56
6	0.1256	0.8744	-2.28	200.68
7	0.0689	0.9311	-4.58	213.69
8	0.0343	0.9657	-6.88	221.63

(Sumber: Pengolahan Data, 2016)

Tabel 9 Jumlah DT optimal dengan waktu tunggu

No. Excavator	Jumlah DT Optimal
EX 425	6
EX 429	5
EX 430	5
EX 431	5
EX 432	5
Total	26

Sumber: Pengolahan Data, 2016

Metode Linear Programming

Penentuan jumlah *dump truck* yang optimal dengan tujuan peningkatan produksi dengan biaya minimum dapat dilakukan juga dengan metode *Linear Programming (LP)*. Berikut adalah fungsi tujuan dan kendala optimasi jumlah truck:

Fungsi tujuan adalah minimasi biaya produksi *dump truck*

$$Z = 0.7219 X_1 + 0.5925 X_2 + 0.6921 X_3 + 0.6410 X_4 + 0.6378 X_5$$

Dengan kendala:

$$X_1 + X_2 + X_3 + X_4 + X_5 \leq 27$$

$$42.25 X_1 \geq 240$$

$$51.48 X_2 \geq 240$$

$$44.07 X_3 \geq 240$$

$$47.58 X_4 \geq 240$$

$$47.82 X_5 \geq 240$$

$$X_i \geq 0$$

$$P_j \geq 0$$

Dimana:

C_i : biaya per *dump truck* ke- i ($i=1, 2, 3, 4, 5$)

X_i : jumlah DT EX ke- i ($i=1, 2, 3, 4, 5$)

P_j : produksi unit *dump truck* ke- j ($j=1, 2, 3, 4, 5$)

Solusi optimal hasil perhitungan dengan metode linier programming menggunakan *POM for Windows* dapat dilihat pada Tabel 10, hasilnya jumlah DT total adalah 26 unit.

Tabel 10 Jumlah *dump truck* hasil LP program *POM for Windows*

Variable	Jumlah unit simulasi LP POM for Windows	Jumlah unit simulasi LP POM for Windows (integer)
X 1 (425)	5.681	6.0
X 2 (429)	4.662	5.0
X 3 (430)	5.446	5.0
X 4 (431)	5.044	5.0
X 5 (432)	5.019	5.0
Optimal Value (Z)	17.066	26

(Sumber: Pengolahan Data, 2016)

Perencanaan Kebutuhan *Dump Truck* yang Optimal

Hasil optimasi kebutuhan *dump truck* dengan metode *match factor*, metode antrian dan metode *linear programming* tidak jauh berbeda. Jumlah *dump truck* optimal dengan metode *match factor* adalah 25 unit dengan penyebaran masing-masing *excavator* mendapat 5 unit *dump truck*. Sedangkan dengan metode antrian dan metode *linear programming* diperoleh total *dump truck* 26 unit dengan penyebaran 1 unit *excavator* (EX 425) mendapat 6 unit *dump truck*, dan *excavator* lainnya (EX 429, EX 430, EX 431, EX 432) mendapat 5 unit *dump truck*. Jumlah *dump truck* yang semula secara aktual berjumlah total 27 unit dapat dikurangi sebanyak 2 unit dari hasil analisis dengan metode *match factor* atau sebanyak 1 unit dengan metode antrian dan *linear programming*. Dengan demikian 1 unit *dump truck* semestinya dapat dialokasikan ke area kerja lain.

Faktor-faktor yang berpengaruh dalam perencanaan kebutuhan jumlah *dump truck* diantaranya adalah 1) produktivitas *excavator*, 2) produktivitas *dump truck*, 3) kondisi *excavator* dan *dump truck*, 4) jumlah *excavator*, serta 5) jumlah *dump truck*. Produktivitas atau produksi per jam dari *excavator* ini berpengaruh dalam menentukan produktivitas *dump truck* yang akhirnya bisa menentukan jumlah *dump truck*. Produktivitas *excavator* ini dipengaruhi oleh *cycle time excavator*, efisiensi kerja, faktor isian *bucket*, dan kapasitas *bucket*.

Produktivitas *dump truck* paling berpengaruh terhadap jumlah *dump truck*, dimana dengan volume produksi *excavator* yang sama, makin tinggi produktivitas *dump truck* maka makin sedikit jumlah *dump truck* yang dibutuhkan, demikian sebaliknya. Kondisi ketersediaan *excavator* dan *dump truck* yang siap kerja/*ready* akan mempengaruhi perhitungan simulasi optimasi. Jumlah aktual *excavator* berpengaruh terhadap jumlah *dump truck* yang melayaninya untuk menentukan persebaran masing-masing *dump truck* dengan jumlah yang terbatas, sementara jumlah aktual *dump truck* berpengaruh dalam optimasi alokasi *dump truck* yang terbatas.

Perbandingan Produktifitas

Hasil perhitungan produktivitas *dump truck* dapat dilihat pada Tabel 12. Berdasarkan tabel tersebut dapat dilihat bahwa semua metode menghasilkan total produktivitas yang sama sebesar 233 BCM/jam, jumlah produksi mampu melampaui produksi actual yaitu sebesar 225 BCM/jam.

Tabel 12 Perbandingan produktivitas tiap *dump truck*

Excavator	Total Produktivitas Dump Truck (BCM / Jam)			
	Aktual	Match Factor	Metode Antrian	Metode Linear Programming
EX 425	40	42	42	42
EX 429	50	51	51	51
EX 430	43	44	44	44
EX 431	46	48	48	48
EX 432	46	48	48	48
Total	225	233	233	233

(Sumber: Pengolahan Data, 2016)

Dari hasil produktivitas masing-masing *dump truck* kemudian dikalikan dengan jumlah *dump truck* per metode. Perbandingan volume produksi masing-masing metode dapat dilihat pada Tabel 13. Berdasarkan tabel tersebut dapat dilihat bahwa total volume produksi yang melebihi target produksi sebesar 1200 BCM/jam adalah dengan metode antrian dan *linear programming* yaitu sebesar 1208 BCM/jam, simulasi volume produksi dengan metode *match factor* tidak mencapai target. Apabila dibandingkan dengan aktual sebelumnya produksi naik 1 BCM/jam, dari 1207 BCM/jam menjadi 1208 BCM/jam.

Tabel 13 Perbandingan volume produksi total *Dump Truck*

Excavator	Total Produksi Dump Truck (BCM / Jam)				
	Target Produksi	Aktual	Metode Match Factor	Metode Antrian	Metode Linear Programming
EX 425	240	240	211	253	253
EX 429	240	248	257	257	257
EX 430	240	258	220	220	220
EX 431	240	232	238	238	238
EX 432	240	229	239	239	239
Total	1200	1207	1166	1208	1208

(Sumber: Pengolahan Data, 2016)

Penentuan Biaya Produksi Minimal

Berdasarkan perhitungan jumlah *dump truck* dan produksi *overburden*, selanjutnya dapat dihitung biaya produksi *dump truck* sehingga diketahui biaya produksi minimal. Perhitungan biaya produksi aktivitas pengangkutan (*hauling cost*) berdasarkan jumlah DT dan produksi DT dengan metode *Match Factor* dapat dilihat pada Tabel 14. Sebagai ilustrasi untuk biaya DT EX 425 per unit adalah 30,5 USD/jam dengan produksi 211 BCM/jam dan jumlah DT sebanyak 5 unit akan diperoleh biaya produksi sebesar 0,72 USD/BCM. Total biaya produksi *excavator* EX 425 adalah biaya *hauling* ditambah dengan biaya *loading* yakni sebesar 1,01 USD/BCM.

Perhitungan biaya produksi aktivitas pengangkutan (*hauling cost*) berdasarkan jumlah DT dan produksi DT untuk metode antrian dan metode *linear programming* adalah sama seperti pada Tabel 15. Biaya produksi (*loading* dan *hauling cost*) yang efisien adalah 0.909 USD/BCM.

Tabel 14 Biaya produksi dengan metode *match factor*

<i>Excavator</i>	<i>Excavator Cost per unit (USD/BCM)</i>	<i>DT Cost per unit (USD/BCM)</i>	<i>Jumlah DT (unit)</i>	<i>Total Produksi DT (BCM/Jam)</i>	<i>Hauling Cost (USD/BCM)</i>	<i>Loading Cost (USD/BCM)</i>	<i>Total Cost (USD/BCM)</i>
EX 425	60.8	30.5	5	211	0.72	0.29	1.01
EX 429	60.8	30.5	5	257	0.59	0.24	0.83
EX 430	60.8	30.5	5	220	0.69	0.28	0.97
EX 431	60.8	30.5	5	238	0.64	0.26	0.90
EX 432	60.8	30.5	5	239	0.64	0.25	0.89
TOTAL			25	1166	0.657	0.262	0.919

(Sumber: Pengolahan Data, 2016)

Tabel 15 Biaya produksi dengan metode antrian dan *linear programming*

<i>Excavator</i>	<i>Excavator Cost per unit (USD/BCM)</i>	<i>DT Cost per unit (USD/BCM)</i>	<i>Jumlah DT (unit)</i>	<i>Total Produksi DT (BCM/Jam)</i>	<i>Hauling Cost (USD/BCM)</i>	<i>Loading Cost (USD/BCM)</i>	<i>Total Cost (USD/BCM)</i>
EX 425	60.8	30.5	6	253	0.72	0.24	0.96
EX 429	60.8	30.5	5	257	0.59	0.24	0.83
EX 430	60.8	30.5	5	220	0.69	0.28	0.97
EX 431	60.8	30.5	5	238	0.64	0.26	0.90
EX 432	60.8	30.5	5	239	0.64	0.25	0.89
TOTAL			26	1208	0.657	0.252	0.909

(Sumber: Pengolahan Data, 2016)

Biaya Produksi Yang Minimal

Tujuan akhir dari optimasi produksi adalah mengoptimasi sumber daya yang terbatas dengan pencapaian produksi optimasi sesuai dengan efisiensi biaya produksi. Dengan demikian faktor utama yang perlu dipertimbangkan adalah faktor biaya produksi untuk masing-masing perhitungan metode. Berdasarkan jumlah *dump truck* dan produksi yang dihasilkan oleh masing-masing metode dapat ditentukan biaya produksi untuk aktivitas pengangkutan (*hauling cost*) yang efisien/minimal. Perbandingan biaya produksi masing-masing metode dapat dilihat pada Tabel 17. Berdasarkan hasil perbandingan dapat dilihat bahwa biaya paling efisien ditunjukkan dengan metode *linear programming* dan antrian yaitu sebesar 0.909 USD/BCM atau berhasil menurunkan biaya produksi (*hauling cost* dan *loading cost*) dari semula 0.935 USD/BCM menjadi 0.909 USD/ BCM atau terjadi penurunan sebesar 2.69 % dari biaya produksi aktual, sedangkan dengan target awalnya adalah 0.933 USD/BCM.

Tabel 17 Perbandingan biaya produksi *dump truck* /*hauling cost*

<i>Excavator</i>	<i>Hauling Cost (USD/BCM)</i>				
	<i>Plan</i>	<i>Aktual</i>	<i>Metode Match Factor</i>	<i>Metode Antrian</i>	<i>Metode LP</i>
EX 425	0.677	0.763	0.722	0.722	0.722
EX 425	0.677	0.615	0.592	0.592	0.592
EX 425	0.677	0.708	0.692	0.692	0.692
EX 425	0.677	0.657	0.641	0.641	0.641
EX 425	0.677	0.667	0.638	0.638	0.638
TOTAL	0.677	0.682	0.657	0.657	0.657

(Sumber: Pengolahan Data, 2016)

Tabel 18 Perbandingan biaya produksi *excavator/loading cost*

Excavator	Loading Cost (USD/BCM)				
	Plan	Aktual	Metode Match Factor	Metode Antrian	Metode LP
EX 425	0.256	0.254	0.288	0.240	0.240
EX 425	0.256	0.245	0.236	0.236	0.236
EX 425	0.256	0.235	0.276	0.276	0.276
EX 425	0.256	0.262	0.256	0.256	0.256
EX 425	0.256	0.266	0.254	0.254	0.254
TOTAL	0.256	0.252	0.262	0.252	0.252

(Sumber: Pengolahan Data, 2016).

Tabel 19 Perbandingan biaya produksi *total cost (loading & hauling)*

Total Cost (USD/BCM)				
Plan	Aktual	Metode Match Factor	Metode Antrian	Metode LP
0.933	1.017	1.010	0.962	0.962
0.933	0.860	0.829	0.829	0.829
0.933	0.943	0.968	0.968	0.968
0.933	0.919	0.897	0.897	0.897
0.933	0.933	0.892	0.892	0.892
0.933	0.935	0.919	0.909	0.909

(Sumber: Pengolahan Data, 2016)

Berdasarkan analisis di atas, metode *linear programming* lebih baik untuk digunakan dalam simulasi optimasi produksi dengan efisiensi penggunaan alat angkut dapat optimal. Hal ini terlihat dari produksi yang mendekati target dan biaya produksi yang efisien. Dengan demikian metode *linear programming* dapat memberikan hasil yang lebih baik dalam melakukan optimasi terhadap penggunaan alat angkut, sehingga *linear programming* dapat dijadikan sebagai alternatif dalam menentukan jumlah alat angkut yang paling optimum untuk mencapai target produksi.

Penelitian ini berhasil menurunkan biaya alat angkut dengan mengurangi jumlah alat angkut yang semula dari 27 unit menjadi 25 unit jika dengan metode *match factor* dan 26 unit jika dengan metode antrian dan *linear programming*, selain itu dapat menurunkan biaya produksi (*hauling cost* dan *loading cost*) dari semula 0,935 USD/BCM menjadi 0,909 USD/ BCM atau terjadi penurunan sebesar 2,69 % dari biaya produksi aktual, sedangkan dengan target awalnya adalah 0,933 USD/BCM. Penerapan dari hasil analisa tersebut akan bermanfaat bagi industri pertambangan khususnya kontraktor pertambangan karena dapat mengurangi biaya produksi aktivitas operasional di tambang.

5 Kesimpulan

Perencanaan kebutuhan jumlah *dump truck* yang optimal untuk pemindahan material *overburden* berdasarkan metode *match factor* untuk *excavator* adalah sebanyak 25 unit, berdasarkan metode antrian untuk masing-masing *excavator* diperlukan 26 unit, sementara dengan metode *linear programming* untuk masing-masing *excavator* sebanyak 26 unit. Dengan demikian apabila dengan aktual unit sebelumnya yang digunakan 27 unit maka dapat dilakukan efisiensi sebanyak 1-2 unit DT yang dapat dialokasikan ke area kerja lain.

Produksi yang optimal untuk pemindahan material *overburden* berdasarkan metode *match factor* adalah 1.166 BCM/Jam, dengan metode antrian adalah 1.208 BCM/Jam, dan berdasarkan metode *linear programming* adalah 1.208 BCM/Jam. Dengan demikian produksi optimal dengan metode antrian dan

metode *linear programming* dengan 1.208 BCM/Jam yang paling sesuai dengan target produksi yaitu 1.200 BCM/Jam.

Biaya produksi yang efisien untuk pemindahan material *overburden* berdasarkan metode *match factor* adalah 0.919 USD/BCM, berdasarkan metode antrian adalah 0.909 USD/BCM, dan metode *linear programming* adalah 0.909 USD/BCM. Dengan demikian biaya produksi yang efisien dengan metode *linear programming* dengan 0.909 USD/BCM masih di bawah dengan target biaya produksi yaitu 0.933 USD/BCM.

Referensi

- Adadzi, E. (2013). *Stochastic Optimization of Equipment Productivity in Multi-Seam Formations*. Thesis. Master of Science in Mining Engineering. Missouri University of Science and Technology, Columbia.
- Alkass, S., Moslamani, K, & Alhussein, M. (2003). A Computer Model for Selecting Equipment For Earthmoving operations Using Queueing Theory. *Proceeding Construction Information Department of Building, Civil and Environmental Engineering*.(pp 78-83). Concordia University, Montreal. Canada.
- APBI. (2012). *Industri Pertambangan Batubara Indonesia*. <http://www.apbi-icma.org>. 15 Oktober 2015.
- Aykul, H. (2007). Equipment Selection for High Selective Excavation Surface Coal Mining. *The Journal of The Southern African Institute of Mining and Metallurgy Vol 107, 72-85*.
- Bascetin, A. & Ercelebi, S. G. (2009). *Optimization of Shovel-Truck System for Surface Mining*. Journal of The Southern African Institute of Mining & Metallurgy. Volume 109. pp 433-439.
- Burt, N (2008). *An Optimisation Approach to Materials Handling in Surface Mines*. Thesis. Curtin University of Technology. Perth.
- Cacceta, L & Burt, C. (2013). Equipment Selection for Surface Mining : A Review. *Journal Interface*. 44 (2): 143-162
- Cetin, N. (2004). *Open Pit Truck / Shovel Haulage System Simulation*. Thesis. Graduate School Of Natural and Applied Science of Middle East Technical University. Ankara.
- Choudhary, R.P. (2015). Optimization of load-haul-dump mining system by OEE and match factor for surface mining. International Journal Available at <http://www.cibtech.org/jet.htm> 2015 Vol. 5 (2) April-June, pp. 96-102 International Journal of Applied Engineering and Technology ISSN: 2277-212X (Online) An Open Access, Online International Journal Available at <http://www.cibtech.org/jet.htm>
- Deshpand, V.S & Ade, M. (2012). Lean Manufacturing and Productivity Improvement In Coal Mining. *International Journal of Scientific & Technology Research 1 (5), 11-14*.
- Engineering PT RML. (2015). *Monthly Report Jobsite KTD September 2015*. Samarinda. Tidak dipublikasikan.
- Franik, E. & Franik, T. (2009). *Application of NonLinear Programming for Optimization of Factors of Production in Mining Industry*. Alcon Pharmaceutical Ltd a Novartis Company. Fribourg.
- Ilahi, R.R. Ibrahim, E., & Swardi, F. R. (2014). *Kajian Teknis Produktivitas Alat Gali-Muat (Excavator) Dan Alat Angkut (Dump Truck) Pada Pengupasan Tanah Penutup Bulan September 2013 di Pit 3 Banko Barat PT. Bukit Asam (Persero) Tbk UPTe*. Jurnal Ilmu Teknik.
- Junior, J., Koppe, J. & Costa, J. (2012). A Case Study Application of Linear Programming and Simulation to Mine Planning. *Journal of The Southern African Institute of Mining and Metallurgy*. 112, 477-484.
- Kementrian ESDM. (2015). *Peranan Sektor Pertambangan Dalam Mendorong Perekonomian Nasional*. Jakarta. <http://www.esdm.go.id>. 18 November 2015.
- Kumar, A. (2014). *Production Scheduling and Mine Fleet Assignment Using Integer Programming*. Thesis. Department of Mining Engineering. National Institute of Technology Rourkela.
- Mohutsiwa & Musingwini. (2015). Parametric Estimation of Capital Costs for Establishing a Coal Mine: South Africa Case Study. *The Journal of The Southern African Institute of Mining and Metallurgy August 2015*. pp 789-797.
- Nel, S., Kizil, M, & Knights, P. (2011). Improving Truck Shovel Matching. *Apcom Symposium 35th. Wollongong*. pp 381-391. Wollongong, New Sout Wales: Wollongong University.
- Newman, A., Rubio, E., & Eureka, K. (2010). A Review of Operations Research in Mine Planning. *Journal Interface Vol. 40 No. 3 pp. 222-245*
- May, M. (2012). *Application of Queueing Theory for Open Pit Truck/Shovel Haulage Systems*. Thesis. Virginia Polytechnic Institute and State University. Blacksburg.
- Morley, D., Joseph, T., & Lu, M. (2012). In Search Of the Ideal Truck-Excavator Combination. *Proceeding Departement of Civil and Environmental Engineering*, (pp 1-8). Canada: University of Alberta.

- Morley, L.M. & Abourizk, S. (2013). Utilizing Simulation Derived Quantitative Formulas fo Accurate Excavator Hauler Fleet Simulation. *Proceeding of HTE 2013 Winter Simulation Conference*. (pp. 3019-3029). Department of Civil & Environmental Engineering. Canada: University of Alberta.
- Nageshwaranier, S.S., & Dessureault, S. (2013). Simulation-Based Robust Optimization for Complex Truck-Shovel Systems In Surface Coal Mines. *Proceedings of the Winter Simulation Conference R. Pasupathy, S.-H. Kim, A. Tolk, R. Hill, and M. E. Kuhl, eds.* pp. 3522-3532.
- Noor, I. (2011). Analisa Penentuan Waktu Baku untuk Mempersingkat Proses Pelayanan Bongkar Muat di Pelabuhan Trisakti Banjarmasin. *Jurnal INTEKNA*. Tahun XI. No. 2. pp 171-177.
- Coronado, V. (2014). *Optimization of The Haulage Cycle Model for Open Pit Mining Using A Discrete Event Simulator and A Context-Based Alert*. Thesis. Department of Mining Geological and Geophysical Engineering. The University of Arizona. Arizona.
- Rahadian, F. (2011). Analisis Pengendalian Biaya Dalam Sistem Manajemen Operasi Perusahaan Kontraktor Pertambangan Batubara: Studi Kasus PT PPN. Tesis. Universitas Indonesia. Jakarta.
- Sahoo, S. (2012). *Truck Allocation Mode Using Linear Programming and Queueing Theory*. Thesis. Department of Mining Engineering. National Institute of Technology Rourkela. Odisha.
- Savic, L & Jankovic, R. (2002). Simulation of Truck Haulage at The Open Pit Mine Majdanpek. *The International Journal of Transport & Logistics*. pp 96-103
- Shawki, K., Elrazek, A., & Abdulla, N. (2009). Earthmoving Productivity Estimation Using Genetic Algorithm. *Journal of Engineering Sciences. Assiut University*. Vol 37 No. 33, pp 593-604.
- Sujatmiko, D. (2015). *Analisis Produktivitas Alat Berat Studi Kasus Proyek Pembangunan PLTU Talaud 2 x 3 MW Sulawesi Utara*. Tugas Akhir. Universitas Gadjah Mada. Yogyakarta.