

OPTIMASI PRODUKSI PADA PENAMBANGAN BATUBARA DENGAN METODE ANTRIAN (STUDI KASUS PADA PERTAMBANGAN AREA SAMARINDA, KALTIM)

Alloysius Vendhi Prasmoro¹

¹Dosen Teknik Industri, Universitas Bhayangkara Jakarta

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. The purpose of this study was to optimize the production of coal mining in the context of the efficient use of equipment using queueing method. The research location is in the area of the mining concession contractor in October-November 2015. Production equipment used backhoe excavator is 5 units and 32 units of dump trucks. The simulation results the queuing method generated by the method optimal dump truck needs 25 units. The results of production optimization with queueing method produced mining productivity of 1,208 BCM of overburden per hour with the optimum cost of \$ 0909 / BCM.

Keywords: *production optimize, waiting time, queuing, production cost, cycle time.*

1. PENDAHULUAN

Industri pertambangan batubara selama ini menjadi sektor industri yang memiliki peran besar dalam mendukung pembangunan nasional. Namun peran dan keberlangsungan industri pertambangan batubara sangatlah rentan dengan volatilitas harga komoditas dan juga perkembangan ekonomi secara global (APBI, 2012). Karenanya perusahaan penambangan batubara dituntut untuk meningkatkan produktivitas dan efisiensi, meningkatkan penggunaan teknologi dan melakukan inovasi. Optimasi produksi diterapkan dalam dunia pertambangan dengan peralatan operasional yang terbatas dapat meningkatkan produktivitas, yaitu dengan menentukan jumlah alat yang optimal sesuai dengan target produksi masing-masing alat. (Burt, 2008). Produktivitas alat berat tergantung pada kapasitas *bucket*, *bucket factor*, *cycle time*, dan faktor koreksi produksi (Sujatmiko, 2015). Menurut Burt (2008), optimasi produksi dalam penambangan dapat meningkatkan produktivitas. Beberapa peneliti menjelaskan penggunaan metode antrian untuk mengevaluasi siklus *dump truck* untuk optimasi jadwal produksi (Alkass, 2003; Cetin, 2004; Coronado, 2014; May, 2012). Penelitian ini menganalisis optimasi produksi pada penambangan batubara di area penambangan PT RML Samarinda, Kalimantan Timur dengan menggunakan metode antrian. Tujuannya adalah untuk menentukan kebutuhan *dump truck* yang optimal, produksi yang optimal, dan biaya produksi minimal pada penambangan batubara di PT RML.

2. KAJIAN TEORI

2.1. 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 (Choudary, 2015). Waktu siklus *excavator* terdiri dari menggali, mengayun bermuatan, menumpah, mengayun dengan muatan kosong, 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.

2.2. Produksi Alat Gali Muat (*Excavator*) dan Alat Angkut (*Dump Truck*)

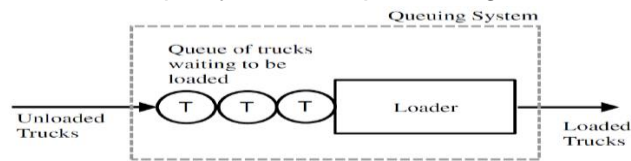
Pentingnya mengestimasi produksi alat berat karena ada kaitannya dengan target produksi yang harus dicapai oleh perusahaan. Interaksi antara target produksi dengan produksi per unit alat berat akan menentukan jumlah alat yang harus digunakan sesuai dengan kapasitas, jenis material yang akan ditangani dan tingkat kemudahan pengoperasian serta perawatannya.

2.3. Biaya Produksi

Menurut Mohutsiwa dan Musingwini (2015), biaya produksi tambang adalah biaya yang dikeluarkan dari operasional tambang. Menurut Lind (2001), biaya produksi per aktivitas sering disebut dengan *Activity Based Costing* (ABC).

2.4. Metode Antrian

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* digambarkan sebagai berikut:



Gambar 1. 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):

$$P_0 (Na, x) = \frac{e^{-x} x^{Na}}{P (Na, x)} = \frac{p (Na, x)}{P (Na, x)} \dots\dots\dots (1)$$

- Dimana : $P_0 (Na, x)$: 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. (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 sistim 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:

$$W = [TL + STD + DT + TE] - (N-1)[STL+LT] \dots\dots\dots (2)$$

Keterangan :

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

3. METODE

Lokasi penelitian terletak di area kerja kontraktor pertambangan PT RML pada konsesi PT KTD yaitu di Desa Embalut, Kecamatan Tenggarong Seberang, Kabupaten Kutai Kertanegara, Kalimantan Timur. Lokasi ini bisa ditempuh menggunakan jalan darat dari Balikpapan ± 2,5 jam perjalanan. Konsesi PT. KTD - Embalut seluas 2.973 Ha. Kegiatan penambangan yang dilakukan adalah dengan sistem tambang terbuka. 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.

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 relevan. 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 metode Antrian, dengan cara:
 - 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.
 - b) Menghitung optimasi jumlah *dump truck* dengan menggunakan teori antrian (M/M/1) sesuai persamaan (1), sedangkan perhitungan waktu tunggu *excavator* digunakan persamaan (2).
2. Menentukan jumlah produksi yang optimal

Berdasarkan jumlah *dump truck* yang optimal dengan metode antrian 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 antrian maka dapat dihitung biaya produksi *dump truck* sesuai biaya alat per jamnya.

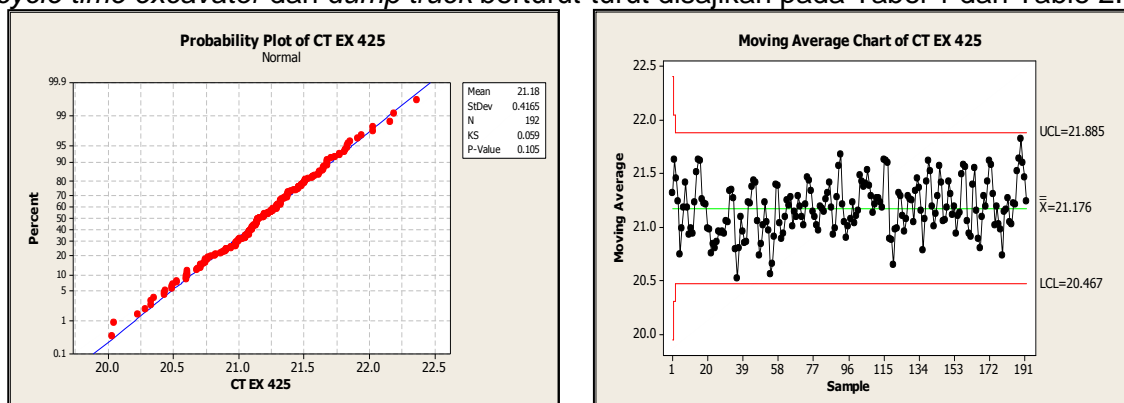
4. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1. Peralatan Tambang Utama

Semua material dimuat oleh *excavator* (alat muat) dengan tipe 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* 6 unit dengan perincian 5 unit status *ready* (siap kerja) 1 unit status *breakdown* (rusak dalam perbaikan) dan *dump truck* 32 unit dengan perincian 27 unit *ready* (siap kerja) dan 5 unit *breakdown* (rusak dalam perbaikan). Kapasitas isi *bucket* PC 400 sebesar 2.0 BCM sedangkan *vessel* (bak truk) sebesar 10.80 BCM. Biaya alat *excavator* sebesar 60.8 USD per jam, sedangkan biaya alat *dump truck* sebesar 30.5 USD per jam. Target produktivitas unit PC 400 Komatsu sebesar 240 BCM per jam, sedangkan 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 % dan *vessel* oleh *excavator* adalah 100% dan untuk faktor efisiensi kerja *excavator* dan *dump truck* adalah 0,75.

4.2. 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 (Wignjosoebroto, 2008 dalam Noor, 2011) dengan bantuan *software Minitab 16*. Hasil pengujian menunjukkan bahwa data yang digunakan cukup, seragam dan berdistribusi normal (Gambar 1). Rata-rata *cycle time excavator* dan *dump truck* berturut-turut disajikan pada Tabel 1 dan Table 2.



Gambar 1. 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)

4.3. 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 dapat 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
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 2) 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

(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 yang dihasilkan oleh *dump truck* dengan antrian dan tanpa antrian dapat dilihat pada Tabel 6. Potensi peningkatan produksi inilah yang dapat dilakukan dengan optimalisasi 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* Yang Optimal

Penentuan jumlah *dump truck* yang optimal dievaluasi dengan metode antrian. Jumlah *dump truck* yang optimal ini diharapkan dapat memberikan produksi yang optimal dengan biaya yang seefisien mungkin.

4.4. Hitungan jumlah *dump truck* dengan Metode Antrian

Jumlah *dump truck* yang optimal pada masing-masing *excavator* dihitung berdasarkan 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 7, kondisi tanpa waktu tunggu ditunjukkan pada jumlah *dump truck* 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 7, dimana jumlah *dump truck* optimal adalah 26 unit.

Tabel 7. 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

(Sumber: Pengolahan Data, 2016)

Tabel 8. 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)

4.5. Penentuan Jumlah Produksi Yang Optimal

Berdasarkan hitungan jumlah *dump truck* yang optimal dengan metode antrian di atas maka dapat dihitung jumlah produksi per jam yang dihasilkan. Hasil hitungan produksi dengan metode tersebut disajikan pada Tabel 9. Produksi optimal yang dihasilkan adalah dari penggunaan metode antrian adalah 1208.2 BCM.

Tabel 9. Perbandingan jumlah produksi DT dengan metode antrian.

Excavator	Produksi per DT per jam (BCM)	
	Metode Antrian	Simulasi Produksi Total DT (BCM)
EX 425	42	253.5
EX 429	51	257.4
EX 430	44	220.3
EX 431	48	237.9
EX 432	48	239.1
Total	233	1208.2

(Sumber : Pengolahan Data, 2016)

4.6. Penentuan Biaya Produksi Minimal

Berdasarkan perhitungan jumlah *dump truck* dan produksi dengan metode antrian maka dapat dihitung biaya produksi *dump truck* sesuai dengan biaya alat per jamnya. Dari sini bisa diperoleh biaya produksi minimal yang diinginkan sesuai dengan produksi dan jumlah *dump truck* yang optimal.

Hitungan biaya produksi aktivitas pengangkutan (*hauling cost*) berdasarkan jumlah DT dan produksi DT dengan metode *Match Factor* dapat dilihat pada Tabel 10. Biaya DT per unit 30.5 USD/jam dengan produksi per jam adalah 211 BCM/jam dan jumlah DT ada 5 unit maka diperoleh biaya produksi DT tersebut adalah:

$$\frac{30.5 \text{ USD/jam} \times 5 \text{ unit}}{211 \text{ BCM/jam}} = 0.72 \text{ USD/BCM.}$$

Cost Excavator EX 425 sebesar 60.8 USD/BCM dengan produksi per jam adalah 253 BCM/Jam dan jumlah Excavator ada 1 unit maka biaya excavator atau *loading cost*

adalah 60.8 USD/BCM dibagi 253 BCM/jam dengan hasil 0.24 USD/BCM. Total Cost Produksi pada Excavator EX 425 adalah *hauling cost* ditambah dengan *loading cost* menjadi 0.96 USD/BCM. Apabila dihitung untuk semua *cost* masing-masing *excavator* maka total *cost* sebesar 0.909 USD/BCM. Hitungan biaya produksi aktivitas pengangkutan (*hauling cost*) berdasarkan jumlah DT dan produksi DT dengan metode antrian adalah sama seperti pada Tabel 9. Berdasarkan hitungan metode Antrian biaya produksi (*loading* dan *hauling cost*) yang efisien adalah 0.909 USD/BCM.

Tabel 10 Biaya produksi dengan metode Antrian

<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)

4.7. Perencanaan Kebutuhan *Dump Truck* yang Optimal

Hasil pengolahan data yang dilakukan menggunakan metode antrian menghasilkan jumlah *dump truck* diperoleh hasil 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*. Perbandingan jumlah *dump truck* masing-masing metode dapat dilihat pada Tabel 11. Dengan demikian maka perhitungan simulasi dapat mengurangi jumlah *dump truck* yang semula secara aktual berjumlah total 27 unit setelah dilakukan optimasi dengan metode antrian dapat mengurangi *dump truck* 1 unit. Dengan demikian 1 unit dapat dialokasikan ke area kerja lain yang lebih membutuhkan.

Tabel 11. Perbandingan Jumlah *Dump Truck*

<i>Excavator</i>	<i>Jumlah Dump Truck (unit)</i>	
	<i>Aktual</i>	<i>Metode Antrian</i>
EX 425	6	6
EX 429	5	5
EX 430	6	5
EX 431	5	5
EX 432	5	5
TOTAL	27	26

(Sumber: Pengolahan Data, 2016)

4.8. Produksi Yang Optimal

Perhitungan produksi masing-masing metode menghasilkan volume produksi yang berbeda tergantung dari jumlah *dump truck* yang ditentukan. Perhitungan produksi berdasarkan perkalian produktivitas unit *dump truck* dengan jumlah *dump truck* setiap *excavator*. Hasil perhitungan produktivitas *dump truck* dapat dilihat pada Tabel 12. Berdasarkan tabel tersebut dapat dilihat bahwa hitungan dengan hasil 233 BCM per jam dimana produksi ini sudah di atas target yang ditentukan yaitu sebesar 240 BCM per jam.

Tabel 12. Perbandingan produktivitas tiap *dump truck*

Excavator	Total Produktivitas <i>Dump Truck</i> (BCM / Jam)			
	Target Produksi	Aktual	Metode Antrian	Metode Linear Programmng
EX 425	48	40	42	42
EX 429	48	50	51	51
EX 430	48	43	44	44
EX 431	48	46	48	48
EX 432	48	46	48	48
TOTAL	240	225	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 mendekati target produksi per jam sebesar 1200 BCM per jam adalah dengan metode antrian yaitu sebesar 1208 BCM per jam. Apabila dibandingkan dengan aktual sebelumnya produksi naik 1 BCM per jam, dari 1207 BCM per jam menjadi 1208 BCM per jam.

Tabel 13. Perbandingan volume produksi total *Dump Truck*

Excavator	Total Produksi <i>Dump Truck</i> (BCM / Jam)		
	Target Produksi	Aktual	Metode Antrian
EX 425	240	240	253
EX 429	240	248	257
EX 430	240	258	220
EX 431	240	232	238
EX 432	240	229	239
TOTAL	1200	1207	1208

(Sumber: Pengolahan Data, 2016)

4.9. 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. Berdasarkan jumlah *dump truck* dan produksi yang dihasilkan dapat ditentukan biaya produksi untuk aktivitas pengangkutan (*hauling cost*) yang efisien/minimal. Hasil perhitungan biaya produksi dapat dilihat pada Tabel 14, Tabel 15 dan Tabel 16. Berdasarkan hasil perhitungan total biaya produksi baik *hauling cost* dan *loading cost* dapat dilihat bahwa biaya produksi dengan optimasi metode 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 14. Perbandingan Biaya Produksi *Dump Truck /Hauling Cost*

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

(Sumber: Pengolahan Data, 2016)

Tabel 15. Perbandingan Biaya Produksi *Excavator / Loading Cost*

<i>Excavator</i>	<i>Loading Cost (USD/BCM)</i>		
	<i>Plan</i>	<i>Aktual</i>	<i>Metode Antrian</i>
EX 425	0.256	0.254	0.240
EX 425	0.256	0.245	0.236
EX 425	0.256	0.235	0.276
EX 425	0.256	0.262	0.256
EX 425	0.256	0.266	0.254
TOTAL	0.256	0.252	0.252

(Sumber: Pengolahan Data, 2016).

Tabel 16 Perbandingan Biaya Produksi *Total Cost (Loading & Hauling)*

<i>Total Cost (USD/BCM)</i>		
<i>Plan</i>	<i>Aktual</i>	<i>Metode Antrian</i>
0.933	1.017	0.962
0.933	0.860	0.829
0.933	0.943	0.968
0.933	0.919	0.897
0.933	0.933	0.892
0.933	0.935	0.909

(Sumber : Pengolahan Data, 2016).

4.9. Implikasi Industri

Kondisi industri komoditas batubara yang sedang mengalami krisis, maka pelaku usaha perlu melakukan optimalisasi untuk meningkatkan daya saing, nilai tambah serta kompetensi dalam menjalankan usahanya. Dalam rangka mendukung upaya untuk meningkatkan nilai tambah tersebut penelitian ini berhasil menurunkan biaya alat angkut dengan mengurangi jumlah alat angkut yang semula dari 27 unit menjadi 26 unit jika dengan metode antrian, 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 perhitungan dan analisa tersebut akan bermanfaat bagi industri pertambangan khususnya kontraktor pertambangan karena dapat mengurangi biaya produksi aktivitas operasional di tambang.

5. PENUTUPAN

5.1. Kesimpulan

- Perencanaan kebutuhan jumlah *dump truck* yang optimal untuk pemindahan material *overburden* berdasarkan metode antrian untuk masing-masing *excavator* adalah : EX 425 : 6 unit DT, EX 429 : 5 unit DT, EX 430 : 5 unit DT, EX431 : 5 unit DT, EX432 : 5 unit DT, sehingga total DT sebanyak 26 unit. Apabila dengan aktual unit sebelumnya yang digunakan 27 unit maka dapat dilakukan pengurangan unit sebanyak 1 unit DT yang dapat dialokasikan ke area kerja lain.
- Produksi yang optimal untuk pemindahan material *overburden* berdasarkan metode antrian adalah 1.208 BCM/Jam. Produksi optimal berdasarkan metode antrian tersebut melebihi target produksi yaitu 1.200 BCM/Jam.
- Biaya produksi yang efisien untuk pemindahan material *overburden* berdasarkan metode antrian adalah 0.909 USD/BCM. Dengan demikian biaya produksi yang

efisien dengan antrian tersebut dengan 0.909 USD/BCM yang masih di bawah dengan target biaya produksi yaitu 0.933 USD/BCM.

5.2. Saran

- a. Penelitian berikutnya diharapkan simulasi dapat mempertimbangkan unit pendukung lainnya seperti *dozer* dan *grader* sehingga optimasi produksi bisa tercapai lebih baik lagi.
- b. Perlu dipertimbangkan metode simulasi yang terkait dengan optimasi produksi di dunia pertambangan dengan *software Lindo, Arena, Talpac*, dan lainnya.

DAFTAR PUSTAKA

1. Alkass, S., Moslamani, K, & Alhoussein, M. **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, 2003
2. APBI. **Industri Pertambangan Batubara Indonesia.** <http://www.apbi-icma.org>. 2012
3. Burt, N, **An Optimisation Approach to Materials Handling in Surface Mines.** *Thesis.* Curtin University of Technology. Perth, 2008
4. Cetin, Necmettin, **Open Pit Truck / Shovel Haulage System Simulation.** *Thesis.* Graduate School Of Natural and Applied Science of Middle East Technical University. Ankara, 2004
5. Choudhary, R.P. **Optimization of Load-Haul-Dump Mining System by OEE and Match Factor for Surface Mining.** *International Journal of Applied Engineering and Technology*, 5, pp 96-102, 2015
6. Coronado, V.. **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, 2014
7. Mohutsiwa & Musingwini. **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*, pp 789 – 797, 2015
8. May, M, **Application of Queuing Theory for Open Pit Truck/Shovel Haulage Systems.** *Thesis.* Virginia Polytechnic Institute and State University. Blacksburg, 2012
9. Noor, I. **Analisa Penentuan Waktu Baku untuk Mempersingkat Proses Pelayanan Bongkar Muat di Pelabuhan Trisakti Banjarmasin.** *Jurnal INTEKNA*, No. 2, (2011), pp 171-177, 2011
10. Sujatmiko, D, **Analisis Produktivitas Alat Berat Studi Kasus Proyek Pembangunan PLTU Talaud 2 x 3 MW Sulawesi Utara.** *Tugas Akhir.* Universitas Gadjah Mada. Yogyakarta, 2015