

Optimalisasi Alat Gali-Muat Dan Alat Angkut Terhadap Produksi *Overburden* Dengan Metode Kapasitas Produksi Dan Metode Antrian Di Pit Timur Periode Agustus 2017 PT. Artamulia Tata Pratama, Site Tanjung Belit, Bungo, Jambi.

Yuli Asri^{1*}, Mulya Gusman^{1**}

¹Jurusan Teknik Pertambangan Fakultas Teknik Universitas Negeri Padang

*asryuli1996@gmail.com

**mulyagusman@ft.unp.ac.id

Abstract. In the mining process, the availability of dump truck equipment and loading equipment will determine the sustainability of production which has an impact on productivity and efficiency. The purpose of this study is to optimize production on stripping the overburden using the queuing method, match factor. The location of the study was conducted at PT. Artamulia Tata Pratama, Tanjung Belit, site Bungo, Jambi in August 2017 – September 2017. The loading equipment used is the PC 1250 Komatsu Excavator and the Komatsu HD 465-7 dump truck. The simulation results of the number of dump trucks needed based on production capacity is 17 units while based on queuing theory there are 17 units. Where the actual dump trucks used were 19 units

Keywords: Production, queue, match factor, optimization of production, coal mining.

1. Pendahuluan

Pengupasan lapisan material penutup merupakan salah satu kegiatan yang sangat pokok dalam kegiatan penambangan, sehingga perlu adanya keseimbangan antara target produksi pengupasan lapisan material penutup terhadap target produksi batubara. Sesuai dengan rencana perusahaan untuk meningkatkan produksi pada setiap tahunnya, maka pengupasan lapisan material penutup juga selalu dilakukan sesuai dengan kemampuan produksi dari alat mekanis yang dipakai.

Dalam kegiatan pengupasan lapisan tanah penutup, PT. ATP menggunakan rangkaian kerja alat gali-muat (*excavator backhoe*) dan alat angkut (*dump truck*) untuk memindahkan material dari *loading point* ke *waste dump* dengan sasaran produksi *overburden* sebesar 26.000.000 bcm/tahun, sedangkan sasaran produksi untuk bulan juli adalah sebesar 2.099.901 bcm/bulan. Namun data aktual yang didapat pada produksi bulan juli adalah sebesar 1.858.215 bcm/bulan data ini jelas kurang dari apa yang telah direncanakan oleh pihak PT. Artamulia Tata Pratama pada bulan juli 2017. Hal ini dapat disebabkan karena kurang baiknya sistem manajemen tambang terutama dari segi efisiensi kerja alat. Waktu hambatan dari masing-masing alat mekanis merupakan suatu faktor yang mempengaruhi nilai efisiensi kerja.

Akibat dari kondisi tersebut perusahaan hanya mampu memindahkan tanah penutup sebesar 53.514 BCM/hari dari target produksi 68.543 BCM/hari. Untuk itu perlu dilakukan usaha untuk memperkecil waktu hambatan yang ada dan juga dengan menambah atau mengurangi jumlah alat gali muat maupun alat angkut yang beroperasi, sehingga efisiensi akan meningkat dan

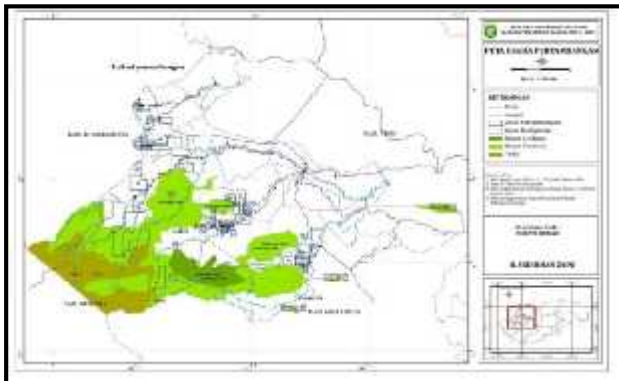
keserasian kerja juga tercapai yang akan meningkatkan produksi. Alat mekanis yang diamati yaitu *dumptruck Komatsu HD 465-7* dan *Excavator PC-1250*, hal ini yang melatar belakangi penulis dalam melakukan penelitian mengenai “Optimalisasi Produksi Alat Muat dan Alat Angkut Dengan Teori Antrian Pada Proses Pengupasan Lapisan Tanah Penutup di Pit Timur, PT. Artamulia Tata Pratama, Site Tanjung Belit, Bungo, Jambi”.

Dalam proses penambangan, faktor peralatan adalah faktor yang sangat penting dalam menjamin kelangsungan produksi. Ketersediaan jumlah *Dumptruck* dan alat muat merupakan hal yang sangat sensitif bagi kelangsungan produksi. Jumlah armada yang berlebih akan mengakibatkan biaya pengeluaran operasi membengkak, sementara jumlah armada yang sedikit akan mengurangi jumlah produksi tambang. Kondisi ideal dalam proses pemuatan dan pengangkutan material sangat sulit dicapai. Akan tetapi, hal tersebut dapat diupayakan dengan melakukan efisiensi terhadap jumlah *dumptruck* utama tambang. Salah satu metode simulasi yang dapat digunakan untuk mengoptimasi produksi alat muat *dumptruck* utama adalah dengan menggunakan metode kapasitas produksi optimal dari kemampuan alat gali (*excavator*) dan kemampuan alat angkut (*dumptruck*). Dengan teori antrian, dapat ditentukan jumlah *dumptruck* yang dibutuhkan untuk mendapatkan produksi optimal sesuai dengan target produksi.

2. Tinjauan Pustaka

2.1. Lokasi Penelitian

Lokasi operasional PT. Artamulia Tatapratama terletak di Desa Tanjung Belit, Kecamatan Jujuhan, Kabupaten Bungo Provinsi Jambi. Secara geografis lokasi penambangan PT. Artamulia Tatapratama terletak antara koordinat $101^{\circ}42'58''\text{BT}$ - $101^{\circ}45'3''\text{BT}$ dan $01^{\circ}24'15''\text{LS}$ - $01^{\circ}25'0''\text{LS}$. Gambar 1.



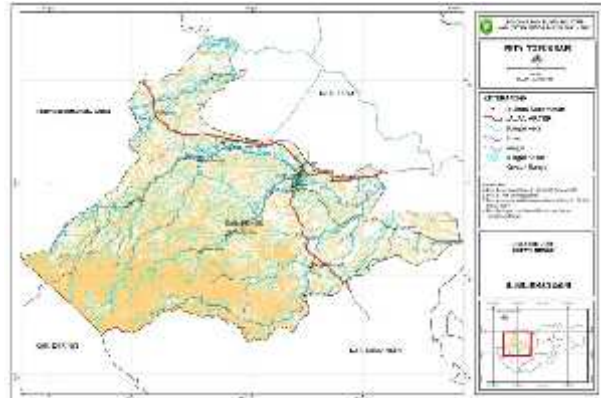
Gambar 1. Peta Lokasi Penelitian

2.2 Kondisi Geologi dan Stratigrafi

2.2.1 Struktur Geologi

Geologi daerah Tanjung Belit termasuk dalam cekungan ombilin, Sumatera Barat yang berumur dari muda ke tua yaitu Miosen–Oligosen. Geologi regional area penambangan berupa sesar dan perlipatan. Patahan (sesar) di lembar Painan mempunyai arah umum barat laut–tenggara. Sudut kemiringan dari lapisan batuan pra tersier atau batuan tersier yang di dekat daerah patahan biasanya besar. Arah sumbu antiklin dan sinklin batuan tersier hampir sama dengan arah lipatan batuan pra tersier yang merupakan batuan dari batuan tersier.

Sesar utama dilembar ini adalah bagian dari sesar Sumatera yang berupa sesar geser mengangan dan beberapa sesar normal yang berarah barat laut–tenggara. Sesar utama tersebut ada kaitannya dengan pembentukan bongkah-bongkah turun seperti danau diatas dan danau dibawah, lembah-lembah Muaralabuh dan Semurup, kegiatan Gunung Kerinci, dan jalur metasir panas. Daerah ini juga mengalami beberapa tektonik yang dimulai sejak perem akhir, dimana formasi Ngaol dan formasi Barisan mengalami pengangkatan, perlipatan dan mungkin pemalihan seperti pada peta geologi lembar Muara Bungo, Sumatera. Gambar 2.



Gambar 2. Peta Topografi PT. Artamulia TataPratama



Gambar 3. Peta Geologi Regional PT. Artamulia TataPratama

2.2.2 Stratigrafi

Daerah penelitian secara dominan tersusun oleh formasi sinamar (Tos) yang terdiri dari: batupasir, berwarna abu-abu hingga abu-abu terang, berbutir halus hingga sedang, menyudut tanggung, *loose*, formasi tersebut memiliki umur oligosen. Batu lempung berwarna abu–abu hingga abu–abu kecoklatan–kemerahan, sedikit pasir, lunak. batu lanau, berwarna abu–abu hingga abu-abu kehijauan, kompak. Batubara berwarna hitam kusam sampai hitam mengkilap, kilap *dull*, agak keras, mengandung damar tebal sampai 15 cm.

Formasi sinamar merupakan endapan darat dengan lingkungan rawa-rawa (limnik). Diatasnya diendapkan formasi Rantau Ikil (Tmr) yang terdiri dari batu lempung hijau bersifat gamping, napal dan sisipan batu gamping berlapis, mencirikan lingkungan danau. Kedua formasi tersebut secara tidak selaras ditutupi oleh endapan vulkanik kuarter yang berasal dari pegunungan barisan di sebelah baratnya akibat kegiatan magmatisme.

2.3. Kegiatan Penambangan

Kegiatan penambangan yang diterapkan adalah dengan sistem tambang terbuka biasanya tipe ini diterapkan untuk endapan batubara yang mempunyai lapisan tebal dan dilakukan dengan membuat jenjang (*bench*)^[1].

2.3.1 Pemilihan Alat Mekanis

Analisa terhadap peralatan mekanis merupakan suatu langkah penting yang harus dilakukan

sebelum menghitung produktivitas peralatan mekanis, khususnya alat gali-muat. Dan alat angkut serta *hydraulic excavator* dan *dump truck* [2].

2.3.1.2 Pengembangan material (swell factor)

”Swell” adalah pengembangan volume suatu material digali dari tempatnya material dilapangan jika digali akan mengalami pengembangan [3,4].

Faktor pengembangan juga dapat diketahui dari perbandingan densitas material lepas dengan densitas material insitunya. Bentuk volume material yang mempengaruhi perhitungan pemindahannya, yaitu dinyatakan dalam *bank cubic meter* (BCM), *loose cubic meter* (LCM), *compacted cubic meter* (CCM).

Persamaan untuk menghitung besarnya *swell factor* dan % *swell* ada dua macam, yaitu:

Perhitungan berdasarkan volume

$$Swell\ factor = \frac{D}{h} \frac{w}{w} \quad (1)$$

$$\%\ swell = \frac{lc}{b} \frac{w}{w} \frac{hc-b}{w} \frac{w}{hc} \times 100\% \quad (2)$$

Perhitungan berdasarkan densitas

$$Swell\ factor = \frac{lc}{w} \frac{w}{hc} \frac{hc}{b} \quad (3)$$

$$\% \ swell = \frac{d}{lc} \frac{b}{d} \frac{-lc}{d} \frac{d}{d} \times 100\% \quad (4)$$

2.3.2 Pemanfaatan dan Kemampuan Alat Gali Muat

2.3.2.1 Hydraulic Excavator

Hydraulic excavator merupakan salah satu peralatan mekanis yang menggunakan tekanan hidraulik untuk menggerakkan *bucket* sehingga dapat menggali dan memuat material [5].

2.3.3 Efektifitas Peralatan Mekanis

Peralatan mekanis pada umumnya tidaklah 100 % akan selalu beroperasi secara optimal. Ada kalanya beberapa pengaruh, baik dari peralatan itu sendiri, maupun dari faktor luar seperti cuaca, selain itu, untuk setiap peralatan mekanis terdapat *time catagorization*.

2.3.4 Produktivitas Alat Muat dan Alat Angkut

2.3.4.1 Produksi Alat Muat

Untuk mengetahui produksi alat muat per jam, maka perlu dihitung produktivitas per siklus dengan persamaan:

$$q = \frac{q \times R}{S} \quad (5)$$

keterangan:

q = produksi alat persiklus

ql = kapasitas *bucket*

SF = *swell factor*

Maka setelah mengetahui produksi persiklus , kita dapat menghitung produksi per jam *excavator* tersebut dengan persamaan:

$$Q = \frac{q \times B \times E}{C} \quad (6)$$

Keterangan:

Q = Produksi per jam alat muat (BCM/jam)

E = Efisiensi Kerja

CT = *Cycle time*

2.3.4.2 Produksi Alat Angkut

Kemampuan alat angkut dapat dihitung dengan menggunakan rumus sebagai berikut:

Produksi per siklus *dump truck*

$$q = n \times ql \times k \quad (7)$$

Keterangan:

q = produksi alat angkut per siklus

n = jumlah pengisian

ql = kapasitas *bucket*

k = *bucket fill factor*

produksi per jam *dump truck*

$$Q = \frac{q \times B \times E}{C} \quad (8)$$

Keterangan:

Q = Produksi per jam alat muat (BCM/jam)

E = Efisiensi Kerja

CT = *Cycle time*

2.3.5 Keserasia Kerja (Match Factor)

Untuk mendapatkan hubungan kerja yang serasi antara alat gali-muat dan alat angkut, maka produksi alat gali-muat harus sesuai dengan produksi alat angkut. Faktor keserasian alat gali-muat dan alat angkut didasarkan pada produksi alat gali-muat dan alat angkut, yang dinyatakan dalam *match factor* (MF).

$$MF = \frac{n \times Ct \times N}{C \times N} \quad (9)$$

Keterangan:

MF : faktor keserasian kerja

Na = jumlah alat angkut dalam kombinasi kerja, unit

Nm = jumlah alat gali-muat dalam kombinasi kerja

n = banyaknya pengisian tiap satuan alat angkut

C_{tm} = waktu edar alat gali-muat, menit

C_{ta} = waktu edar alat angkut, menit

2.4 Teori Antrian

Teori antrian dapat digunakan dalam menganalisis secara statistic biaya *dump truck* dan alat muat yang diperlukan untuk sejumlah truk sehingga jumlah truk optimum dapat ditentukan. Selain itu teori antrian ini 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 kelokasi tujuan, menumpahkannya, dan kembali ketempat pemuatan untuk pemuatan selanjutnya^[6].

Menurut pendapat P. Siagian (2006:390) didalam Sugiarto. Dkk (2012). Antrian adalah suatu garis tunggu dari satuan yang membutuhkan layanan dari satu atau lebih fasilitas layanan^[7].

2.4.1 Disiplin Pelayanan

Disiplin pelayanan adalah suatu aturan dimana para pelanggan dilayani, tipe aturan antrian terdiri dari^[7,8]:

a. FIFO (First In First Out)

Aturan yang mendasar pada yang pertama masuk, pertama keluar atau pertama datang yang akan dilayani (*first come first served*). Aturan ini umum digunakan pada pemindahan tanah mekanis.

b. LIFO (Last In First Out)

Aturan pelayanan yang mendasarkan pada pelanggan yang terakhir masuk pertama keluar.

c. SIRO (Service In Random Order)

Aturan pelayanan dalam aturan acak.

d. PRI (Priority Disclipines)

Aturan pelayanan berdasarkan prioritas.

Pengelompokan fasilitas pelayanan menurut jumlah yang tersedia^[8,9].

- a. *Single channel single phase* (satu antrian satu pelayanan).
- b. *Single channel multiple phase* (satu antrian beberapa pelayanan seri).
- c. *Mutiple channel single phase* (satu antrian beberaoa pelayanan).
- d. *Multiple channel multiple phase* (satu antrian beberapa pelayanan seri).

2.4.3 Karakteristik sistem kesetimbangan pelayanan

Probabilitas keadaan tetap dari M tahap dan N truk adalah sebagai berikut :

$$\frac{(N+M-1)!}{(M-1)!N!} \tag{10}$$

Probabilitas keadaan antrian putaran bila ada 4 tahap dengan N truk dapat dihitung dengan rumus:

$$P(n_1, n_2, n_3, n_4) = \frac{\mu_1^{(N-n_1)}}{\mu_1! \mu_2^{n_2} \mu_3^{n_3} \mu_4^{n_4}} \tag{11}$$

Probabilitas bahwa sebuah tahap bekerja adalah:

$$\begin{aligned} Pr(\text{tahap } i \text{ bekerja}) &= 1 - P(n_1, n_2, n_{i-1}, 0, n_{i+1}, n_M) \tag{12} \end{aligned}$$

Jumlah pelanggan yang diharapkan menunggu dalam antrian:

$$L_q = \frac{\lambda^2}{\mu(\mu - \lambda)} = \frac{\rho^2}{1 - \rho} \tag{13}$$

Jumlah truk yang dapat terlayani pada tiap-tiap tahapnya adalah:

$$E_1 = 1 \times \mu_1 \tag{14}$$

Jumlah truk yang menunggu dalam antrian pada tahap ke i adalah:

$$L_{q1} = n_1 P(n_1, n_2, \dots, n_M) - P(n_1, n_2, \dots, n_M) \tag{15}$$

Durasi waktu sebuah truk antri pada tahap 1 adalah:

$$W_{qi} = \frac{L_{qi}}{\mu} \tag{16}$$

Total *cycle time* satu unit truk untuk menyelesaikan tahap M adalah :

$$CT = \sum_{i=1}^M (W_{qi} + \frac{1}{\mu_i}) \tag{17}$$

3. Metode Penelitian

Penelitian ini dilakukan pada Agustus 2017 s/d September 2017. Lokasi penelitian di PT. Artamulia Tata Pratama. *Site* Tanjung Beit, Bungo, Jambi.

3.1 Jenis Penelitian

Dalam penelitian ini menggunakan jenis penelitian kuantitatif. Hal itu dikarenakan dalam penelitian nantinya akan menggunakan data-data berupa angka-angka. Metode kuantitatif merupakan metode penelitian yang berlandaskan pada filsafat *positivisme*, digunakan untuk meneliti pada populasi atau sampel yang umumnya dilakukan secara *random*. Pengumpulan data menggunakan *intrument* penelitian, analisis data bersifat kuantitatif atau statistik dengan tujuan untuk menguji hipotesis yang telah ditetapkan^[10].

3.2 Tahap Pengumpulan Data

Tahap pengumpulan data dimulai dengan mengambil data primer berupa data *cycle time* alat muat dan alat angkut.

3.3 Tahap Pengolahan Data

Pengolahan data yang dilakukan yaitu perhitungan *cycle time* alat muat dan alat angkut, produksi alat muat dan alat angkut, *match factor*, optimasi jumlah *dump truck* berdasarkan kapasitas produksi, optimasi jumlah *dump truck* dengan menggunakan teori antrian, banyaknya *dump truck* yang mampu dilayani *excavator*, menentukan model antrian, optimalisasi produksi alat muat dan alat angkut.

4. Hasil dan Pembahasan

4.1 Komposisi alat yang tersedia

Komposisi alat yang dimiliki oleh PT. Artamulia Tata Pratama untuk menunjang tercapainya target produksi dapat dilihat pada tabel 7. Berikut :

Tabel 7. Komposisi Alat Penambangan

No	Unit	Kapasitas Bucket	Jumlah
1	Komatsu PC 1250	6,7 bcm	1
	Komatsu HD 465	34,2 bcm	6
2	Komatsu PC 1250	6,7 bcm	1
	Komatsu HD 465	34,2 bcm	5
3	Komatsu PC 1250	6,7 bcm	1
	Komatsu HD 465	34,2 bcm	5
4	Komatsu PC 1250	6,57bcm	1
	Komatsu HD 465	34,2 bcm	5

4.2 Perhitungan *cycle time dump truck*

Waktu siklus (*cycle time*) untuk *dump truck* didapatkan dari hasil pengamatan yang secara langsung dilakukan dilapangan. Tabel 10. Berikut merupakan *cycle time* rata-rata yang didapatkan dari pengolahan data yang telah dilakukan .

Tabel 10. Waktu siklus (*cycle time*) rata-rata *dumptruck* dalam satuan detik.

No. Unit	Spoting Time	Loading Time	Hauling Time	Manover	Dumping Time	Returning Time	Delay time
AR 01	48	228	459	15	46	304	162
AR 04	34	103	157	27	30	149	202
AR 06	34	103	142	29	30	136	164
AR 08	36	124	213	48	35	171	224

4.3. Perhitungan produktivitas alat gali-muat dan alat angkut

4.3.1 Perhitungan efesiensi kerja alat gali-muat dan alat angkut

Efesiensi kerja adalah perbandingan antara jam kerja efektif terhadap jam kerja yang tersedia. Jam kerja efektif adalah banyaknya jam kerja yang benar-benar digunakan untuk kegiatan produksi.

$$\begin{aligned}
 Wkt &= \frac{(2 \times 2) ja / b}{3 h / b} + \frac{(1.5 \times 4) ja / b}{3 h / b} \\
 &= \frac{5 ja / b + 7 ja / b}{3 h / b} \\
 &= \frac{5 ja / b}{3 h / b} \\
 &= 19,93 \text{ jam/ hari} \\
 &= 1195 \text{ menit/hari}
 \end{aligned}$$

Berdasarkan pengamatan dilapangan diperoleh waktu hambatan kerja alat muat dan alat angkut oleh PT. Artamulia Tatapratama pada tabel 11 berikut:

Tabel 11 . Waktu Hambatan Kerja Alat Gali-Muat dan Alat Angkut

Hambatan	Excavator PC 1250 (menit/hari)	Dump Truck HD 465-7 (menit/hari)
Hambatan yang dapat ditekan		
Terlambat awal shift	30	30
Berhenti bekerja lebih awal	20	25
Istirahat terlalu lama	15	20
Keperluan operator	10	15
Total	75	90

Hambatan yang tidak dapat ditekan		
Hujan dan pengeringan jalan	180	180
Kerusakan alat(<i>break down</i>)	25	200
Pemeriksaan harian oleh Operator	15	15
Perbaikan <i>front</i>	10	10
Pengisian bahan bakar		20
Total	230	425
Total Hambatan	305	515

4.3.2 Kondisi dan Kemampuan Kerja Peralatan Mekanis

Tabel 12 . Waktu yang dibutuhkan alat dalam kegiatan penambangan

No	Alat	Schedule time(hr)	Maintenance (hr) R	Working Hour(hr) W	Standby (hr) S
1	PC 1250	598	12.5	445.5	140
2	HD 465-7	598	100	340.5	157.5

Tabel 13. MA, PA, UA, EU alat angkut dan alat gali muat

NO	Alat	MA	PA	UA	EU
1	PC 1250	97,27 %	97,90 %	76,08 %	74,49 %
2	HD 465-7	77,92 %	83,27 %	68,73 %	56,93%

4.3.3 Produksi Excavator dan Dumptruck per Unit

Tabel 14 . Kemampuan produksi alat gali-muat

No	Fleet	Unit	Kapasitas Bucket	Cycle Time (menit)	Efisiensi Kerja	Bucket fill Factor
1	Fleet 1	PC 1250 ATP 04	6,7 bcm	0,5	74,47 %	80%
		HD 465 AR 33	34,2 bcm	16,36	59,60 %	80%

2	Fleet 2	PC 1250 ATP 08	6,7 bcm	0,48	74,47 %	80%
		HD 465 AR 34	34,2 bcm	8,41	59,60 %	80%
3	Fleet 3	PC 1250 ATP 05	6,7 bcm	0,48	74,47 %	80%
		HD 465 AR 07	34,2 bcm	8	59,60 %	80%
4	Fleet 4	PC 1250 ATP 07	6,7 bcm	0,51	74,47 %	80%
		HD-465 AR 30	34,2 bcm	9,36	59,60 %	80%

4.3.4 Produksi Excavator dan Dumptruck per unit

4.3.4.1 Excavator Komatsu PC 1250 ATP 04

Produksi *excavator* dapat diperoleh dengan menggunakan rumus:

$$q = \frac{Q \times k}{S}$$

$$Q = \frac{q \times 60 \times E}{C}$$

Dimana:

Q = Produksi perjam alat muat (BCM/jam)

q = Produksi alat muat persiklus

ql = Kapasitas *bucket*

k = Faktor *bucket*

E = Efisiensi kerja

SF = *Swell factor*

Contoh perhitungan produksi *Excavator* ATP 04

Diketahui:

Jarak Disposal : 2200 meter

Cycle Time Dump Truck : 16.36 menit

Cycle Time Excavator : 0.5 menit

Kapasitas *bucket* : 6.7 BCM

Bucket fill factor : 80 %

Efisiensi dump truck : 59,60 %

Efisiensi *excavator* : 74,47 %

Jumlah pengisian *bucket* : 7

Maka perhitungan sesuai rumus sebagai berikut:

Produksi per siklus

$$q = \text{kapasitas bucket} \times \text{bucket fill factor}$$

$$= 6.7 \text{ BCM} \times 0.80$$

$$= 5.39 \text{ BCM}$$

Produksi *excavator* per jam

$$Q = \frac{q \times 60 \times E}{C}$$

$$= \frac{5,39 \times 60 \times 0,7}{0,5}$$

$$= \frac{2,31}{0,5} \text{ /ja}$$

$$= 478,63 \text{ BCM/jam}$$

4.3.4.2 Produksi dump truck HD 465-7 AR 33

Untuk menghitung produktivitas alat angkut *dumptruck* Komatsu HD 465 AR 33 digunakan rumus sebagai berikut:

$$q = n \times ql \times k$$

$$Q = \frac{q \times 60 \times E}{C}$$

Produksi per siklus

$$q = n \times ql \times k$$

$$= 5 \times 6,7 \text{ BCM} \times 0,92$$

$$= 26,8 \text{ BCM}$$

Produksi *dump truck* per jam

$$Q = \frac{q \times 60 \times E}{C}$$

$$= \frac{26,8 \text{ BCM} \times 60 \text{ m} / \text{ja} \times 0,5}{1,3 \text{ m}}$$

$$= \frac{977,4 \text{ BCM}}{1,3 \text{ m}}$$

$$= 57,99 \text{ BCM/jam}$$

Produksi total (DT) = Jumlah *dump truck* x Q *dump truck*

$$= 5 \times 57,99$$

$$= 289,95 \text{ BCM/jam}$$

Jumlah produksi *excavator* dan *dump truck* berdasarkan hitungan di atas dapat dilihat pada tabel 18 dibawah ini.

Tabel 15. Perhitungan Produksi *Dumptruck* dan *Excavator*

No. Unit Excavator	Diper Awali (Menit)	Jumlah Di (Unit)	Cycle time excavator (Menit)	Kapasitas Bucket (BCM)	Efisiensi bucket	Faktor efisiensi excavator	Faktor efisiensi DT	Produksi excavator		Produksi dump truck	
								Produksi per siklus (BCM)	Produksi per jam (BCM)	Produksi per siklus (BCM)	Produksi per jam (BCM)
ATP-04	16,36	5	0,5	6,7	0,92	0,74	0,92	5,33	438,572	26,8	57,99
ATP-08	3,41	4	0,48	6,7	0,92	0,74	0,92	5,33	438,572	26,8	57,99
ATP-05	8	5	0,48	6,7	0,92	0,74	0,92	5,33	438,572	26,8	57,99
ATP-07	9,26	5	0,51	6,7	0,92	0,74	0,92	5,33	438,572	26,8	57,99

4.3.5 Perhitungan Match Factor

Match factor merupakan keserasian/kombinasi antara *excavator* terhadap *dump truck* sehingga pada proses pengupasan *overburden* tidak *undertruck* atau *overtruck*. Berdasarkan hasil pengamatan dan perhitungan yang diambil dari lapangan seperti jumlah *excavator*, jumlah *dump truck*, *cycle time excavator* dan *cycle time dump truck* maka di dapat hasil *match factor* seperti perhitungan dan tabel 16 dibawah ini :

Perhitungan *Match Factor Excavator ATP 04*

Diketahui:

Jumlah Ex: 1

Jumlah DT : 6 unit

Cycle Time Ex: 0,5 menit

Cycle Time Dt: 16,36 menit

Jumlah Pengisian *Bucket*: 7 kali

Maka *match factor* match factornya:

$$MF = \frac{n_p \times n_{dt} \times C_e}{n_a \times m \times C_d}$$

$$= \frac{7 \times 5 \times 0,5}{1 \times 1,3}$$

$$= 1,06$$

Tabel 16. Match Factor

No. Unit	Match Factor
ATP. 04	1,06
ATP. 08	1,14
ATP. 05	1,5
ATP. 07	1,36

4.3.6 Waktu Antrian

Waktu antrian alat angkut pada *fleet 1*

Jumlah alat angkut = 5 unit

Jumlah alat muat = 1 unit

Cycle time alat muat = 0,5 menit

Waktu tunggu alat angkut =

$$N_a = \frac{N \times C}{C_t}$$

$$5 \text{ unit} = \frac{5 \times 0,5 \text{ m}}{0,5 \text{ m}}$$

$$C_{ta} = 2,5 \text{ menit}$$

Tabel 17. Match Factor dan waktu antrian pada *fleet*

Fleet	Match Factor	Waktu Antrian
Fleet 1	1,06	2,5 menit
Fleet 2	1,14	1,92 menit
Fleet 3	1,5	2,4 menit
Fleet 4	1,36	2,55 menit

4.4 Penentuan Jumlah *Dump Truck* yang Optimal Berdasarkan Kapasitas Produksi

Dari hasil kapasitas produksi *dump truck* baik yang dibulatkan ke atas maupun ke bawah dipilih nilai yang mendekati dengan kapasitas produksi *excavator* dan nilai tersebut adalah nilai jumlah *dump truck* yang optimal berdasarkan kapasitas produksi. Berdasarkan hasil perhitungan kebutuhan *dump truck* masing-masing *excavator* dapat ditentukan dengan *matching factor 1*.

Cara perhitungannya adalah dengan menghitung actual jumlah *dump truck* yang dibutuhkan untuk bekerja masing-masing *excavator* sesuai dengan waktu siklus.

$$\text{Jumlah DT} = \frac{w \times s \times d \times t}{w \times s \times e \times h \times p}$$

Contoh hitungan pada *Excavator ATP-04*

Waktu siklus *dump truck* 16,36 menit

Waktu siklus *excavator* 0,5 menit

Jumlah pengisian 7 kali

Sehingga jumlah *dump truck* pada *excavator*

$$ATP-04 = \frac{1,3}{0,5 \times 7} = 4,67$$

Unit 5 unit

Dengan menghitung pada *excavator* lainnya, maka dapat diperoleh hasil kebutuhan *dumptruck* berdasarkan kapasitas produksi dengan *match factor* 1 sebanyak 17 *dump truck*, dari aktualnya sebanyak 19 *dumptruck*. Dengan demikian, kita dapat menghemat penggunaan *dump truck* 2 unit, yang dapat berdampak pada pengurangan biaya operasional.

Hasil perhitungan lengkap perhitungan jumlah *dump truck* berdasarkan kapasitas produksi dengan *matching factor* 1 dapat dilihat pada tabel 18.

Tabel 18. Jumlah unit, produksi unit, dan *match factor* berdasarkan metode kapasitas produksi

No. Unit <i>excavator</i>	Jumlah <i>excavator</i> (unit)	Jumlah <i>dump truck</i> (unit)	Cycle Time <i>Excavator</i> (Mntr)	Cycle Time <i>Dump Truck</i> (Mntr)	Jumlah <i>Bayangan</i> (Unit)	<i>Matching Factor</i>	Jumlah <i>Dump Truck</i> (unit)
ATP 04	1	5	0,5	16,36	7	1,06	5
ATP 05	1	4	0,48	8,41	5	1,14	4
ATP 08	1	5	0,48	8	5	1,5	4
ATP 07	1	5	0,51	9,36	5	1,36	4
Total	4	19					17

4.5 Perhitungan Match Factor Dengan Metode Kapasitas Produksi

Setelah dilakukan perhitungan jumlah alat angkut dengan metode kapasitas produksi didapatkan rata-rata nilai MF > 1, ini berarti faktor kerja alat muat masih bekerja 100 % dan faktor kerja alat angkut kurang dari 100 % atau kemampuan alat muat lebih besar dari kemampuan alat angkut, dan menyebabkan waktu tunggu alat angkut menjadi besar.

Tabel 19 . Match Favctor Excavator dengan metode kapasitas produksi

No Unit	<i>Match Factor</i>
EX PC1250 ATP 04	1,06
EX PC1250 ATP 08	1,14
EX PC1250 ATP 05	1,2
EX PC1250 ATP 07	1,08

4.6 Optimalisasi Jumlah Dumptruck Dengan Teori Antrian

4.6.1 Penentuan Model Sistem Antrian

Berdasarkan pengamatan dilapangan barisan antrian termasuk ukuran kedatangan secara terbatas dan hanya dilayani oleh satu unit *excavator* maka pelayanannya adalah pelayanan tunggal (*single server*) dengan disiplin pelayanan pertama datang pertama dilayani (FCFC = *first come first service*).

4.6.2 Probabilitas Keadaan Antrian

Probabilitas keadaan antrian ditentukan oleh jumlah alat angkut yang digunakan dan keadaan antrian yang terdiri dari 4 tahap. 4 tahap tersebut adalah sebagai berikut:

- Tahap 1 (μ_1) merupakan tahap pelayanan pemuatan *dumptruck*.
- Tahap 2 (μ_2) merupakan tahap pelayanan pengangkutan ke disposal.
- Tahap 3 (μ_3) merupakan pelayanan *dumptruck* menumpahkan muatan.
- Tahap 4 (μ_4) merupakan tahap pelayanan *dumptruck* kembali ke *front* dengan keadaan kosong.

4.6.3 Perhitungan Kebutuhan Alat Tambang dengan Teori Antrian

4.6.3.1 PC 1250 melayani dumptruck HD 465 AR 33

1) Penentuan tingkat pelayanan (μ)

a) Tahap 1
 $T_1 = Delay\ time + Loading\ time$
 $= 2,7\ menit + 3,8\ menit$
 $= 6,5\ menit$

$$\mu_1 = \frac{1}{6,5\ m} \times 60\ menit$$

$$= 9,23\ truck/jam$$

$$= 10\ truck/jam$$

b) Tahap 2
 $T_2 = Hauling\ Time$
 $= 7,65\ menit$

$$\mu_2 = \frac{1}{7,6\ m} \times 60\ menit$$

$$= 7,84\ truck/jam$$

$$= 8\ truck/jam$$

c) Tahap 3
 $T_3 = Dumping\ time$
 $= 0,76\ menit$

$$\mu_3 = \frac{1}{0,7\ m} \times 60\ menit$$

$$= 78,94\ truck/jam$$

$$= 79\ truck/jam$$

d) Tahap 4
 $T_4 = Returning\ time$
 $= 4,73\ menit$

$$\mu_4 = \frac{1}{4,7\ m} \times 60\ menit$$

$$= 12,68\ truck/jam$$

$$= 13\ truck/jam$$

2) Probabilitas Keadaan

Jumlah alat angkut (N) yang dilayani oleh PC 1250 ATP 04 adalah 5 unit *dumptruck* dengan 4 tahap antrian (M). Sehingga didapatkan banyaknya kemungkinan keadaan antrian adalah :

$$\frac{(N+M-1)}{N} = \frac{(N+M-1)!}{(M-1)!(N)!}$$

$$\begin{aligned}
 &= \frac{(5+4-1)!}{(4-1)!(5)!} \\
 &= \frac{8!}{3!5!} \\
 &= 56 \text{ keadaan}
 \end{aligned}$$

Untuk menghitung nilai koefisien tiap keadaan, contohnya untuk koefisien (0,0,0,5) digunakan rumus:

$$\begin{aligned}
 \text{Koefisien P (0,0,0,5)} &= \frac{\mu_1^{(N-n_1)}}{n_2! \mu_2^{n_2} n_3! \mu_3^{n_3} n_4! \mu_4^{n_4}} \\
 &= \frac{\mu_1^{(N-n_1)}}{n_2! \mu_2^{n_2} n_3! \mu_3^{n_3} n_4! \mu_4^{n_4}} \\
 &= \frac{1^{(5-0)}}{0! 0! 0! 5! 1^5} \\
 &= \frac{1^5}{(1)(1)(1)(1)(5)} \\
 &= 0,002244
 \end{aligned}$$

Rumus ini digunakan untuk setiap koefisien keadaan sistem sampai keadaan P(2,1,1,1). Pada tabel 20 dapat dilihat bahwa koefisien P(5,0,0,0) bernilai 1 dan nilai ini menjadi dasar untuk menghitung nilai probabilitas pada masing-masing keadaan. Dari tabel 20 didapatkan jumlah dari nilai koefisien seluruh keadaan sistem adalah 8.4796 maka untuk menghitung probabilitas keadaan adalah sebagai berikut :

$$P(5.0.0.0) = \frac{1}{8,4} = 0.1179$$

Sehingga probabilitas tiap keadaan sistem dapat dihitung seperti contoh dibawah ini:

$$\begin{aligned}
 P(0.0.0.5) &= \text{koefisien P (0.0.0.5) X P (5.0.0.0)} \\
 &= 0,00224 \times 0,11793 \\
 &= 0,000264 (2,64 \times 10^{-4})
 \end{aligned}$$

Tabel 20. Probabilitas keadaan antrian PC 1250 (ATP 04) dengan 5 unit *dump truck* HD 465-7 (AR 33)

Nomor Keadaan	Keadaan Sistem				Koefisien	Probabilitas Keadaan
	n1	n2	n3	n4		
1	0	0	0	5	2.24441E-03	2.64683E-04
2	0	0	5	0	3.24986E-05	3.83256E-06
3	0	5	0	0	2.54313E-02	2.99911E-03
4	5	0	0	0	1.00000E+00	1.17930E-01
5	0	0	1	4	1.84667E-03	0.000217777
6	0	1	0	4	1.82358E-02	0.00215055
7	1	0	0	4	1.45887E-02	0.00172044
8	0	1	4	0	3.20924E-04	3.78465E-05
9	1	0	4	0	2.56739E-04	3.02772E-05
10	0	0	4	1	1.97491E-04	2.32902E-05
11	1	4	0	0	1.01725E-01	0.011996459
12	0	4	1	0	1.28766E-02	0.001518539

13	0	4	0	1	7.82502E-02	0.009228046
14	4	1	0	0	1.25000E+00	0.147412494
15	4	0	1	0	1.26582E-01	0.014927847
16	4	0	0	1	7.69231E-01	0.090715381
17	0	0	2	3	1.21553E-03	0.000143347
18	0	2	0	3	5.92664E-02	0.006989289
19	2	0	0	3	7.58610E-02	0.00894629
20	0	2	3	0	1.58456E-03	0.000186867
21	2	0	3	0	2.02824E-03	0.00023919
22	0	0	3	2	6.00070E-04	7.07663E-05
23	2	3	0	0	3.25521E-01	0.03838867
24	0	3	2	0	5.21584E-03	0.000615104
25	0	3	0	2	9.63079E-02	0.011357595
26	3	2	0	0	7.81250E-01	0.092132809
27	3	0	2	0	1.60231E-02	0.001889601
28	3	0	0	2	2.95858E-01	0.034890531
29	0	1	1	3	1.20033E-02	0.001415552
30	1	0	1	3	9.60266E-03	0.001132442
31	1	1	0	3	9.48263E-02	0.011182863
32	1	1	3	0	2.53530E-03	0.000298987
33	1	0	3	1	1.56018E-03	0.000183992
34	0	1	3	1	1.95023E-03	0.00022999
35	1	3	1	0	4.12052E-02	0.004859325
36	0	3	1	1	3.16963E-02	0.003737943
37	1	3	0	1	2.50401E-01	0.029529746
38	3	1	1	0	1.58228E-01	0.018659809
39	3	1	0	1	9.61538E-01	0.113394226
40	3	0	1	1	9.73710E-02	0.01148296
41	0	2	2	1	9.62925E-03	0.001135577
42	2	0	2	1	1.23254E-02	0.001453539
43	2	2	0	1	6.00962E-01	0.070871391
44	2	2	1	0	9.88924E-02	0.011662381
45	0	2	1	2	2.92581E-02	0.003450409
46	2	2	1	0	9.88924E-02	0.011662381
47	2	1	2	0	2.00288E-02	0.002362001
48	2	1	0	2	3.69822E-01	0.043613164
49	0	1	2	2	5.92569E-03	0.000698817
50	1	2	2	0	1.25180E-02	0.001476251
51	1	2	0	2	2.31139E-01	0.027258227
52	1	0	2	2	4.74055E-03	0.000559054
53	1	1	1	2	4.68130E-02	0.005520654
54	1	1	2	1	1.54068E-02	0.001816924
55	1	2	1	1	7.60711E-02	0.008971062
56	2	1	1	1	1.21714E-01	0.014353699
Total					8.47961E+00	1.00000E+00

3) Perhitungan L_{q1} , L_{q3} , W_{q1} dan W_{q3}

a) L_{q1}

Yaitu antrian alat angkut saat proses pemuatan oleh alat gali muat dengan syarat $n1 > 1$ (Tabel 20, kolom ke-2).

$$\begin{aligned}
 L_{q1} &= (1 \times (\text{Probabilitas keadaan } 19, 21, 23, 42, \\
 &43, 44, 46, 47, 48, 56)) + (2 \times (\text{probabilitas} \\
 &\text{keadaan } 26, 27, 28, 38, 39, 40)) + (3 \times \\
 &(\text{probabilitas keadaan } 14, 15, 16)) + (4 \times \\
 &(\text{probabilitas keadaan } 4)) \\
 &= (1 \times (0,008946 + 0,0002391 + 0,038388 + \\
 &0,00145353 + 0,070871 + 0,0116623 + \\
 &0,0116623 + 0,002362 + 0,043613 + \\
 &0,0143536)) + (2 \times (0,092132 + 0,0018896 \\
 &+ 0,0348905 + 0,0186598 + 0,11339422 + \\
 &0,0114829)) + (3 \times (0,147412 + 0,0149278 \\
 &+ 0,0907153)) + (4 \times (0,011793)) \\
 &= 1,5555 \text{ truk} \sim 2 \text{ truk} \\
 &= 2 \text{ truk}
 \end{aligned}$$

b) L_{q3}

Yaitu antrian alat angkut pada saat *dumping* di disposal dengan syarat $n3 > 1$ (Tabel 20, kolom ke-4)

$$\begin{aligned}
 L_{q3} &= (1 \times (\text{Probabilitas keadaan } 17, 24, \\
 &27, 41, 42, 47, 49, 50, 52, 54)) + (2 \\
 &\times (\text{Probabilitas keadaan } 20, 21, 22, \\
 &32, 33, 34)) + (3 \times (\text{Probabilitas} \\
 &\text{keadaan } 8, 9, 10)) + (4 \times \\
 &(\text{Probabilitas keadaan } 2)) \\
 &= (1 \times (0,0001433 + 0,0006151 + 0,0018896 \\
 &+ 0,0011355 + 0,00145353 + 0,002362 + \\
 &0,0006988 + 0,0014762 + 0,000559 + \\
 &0,0018169)) + (2 \times (0,00018686 + \\
 &0,00023919 + 0,00007076 + 0,0002989 + \\
 &0,00018399 + 0,0002299)) + (3 \times \\
 &(0,00003784 + 0,000030277 + \\
 &0,00002329)) + (4 \times (0,000003832)) \\
 &= 0,01613 \text{ truk} \sim 1 \text{ truk} \\
 &= 1 \text{ truk}
 \end{aligned}$$

c) W_{q1}

Yaitu waktu tunggu alat angkut pada saat *loading* oleh alat gali-muat. Untuk menentukan W_{q1} maka yang pertama kali harus dihitung yaitu tingkat kesibukan (ρ) *excavator* sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 \rho &= 1 - P(0, n2, n3, n4) \\
 &= 1 - (\text{probabilitas keadaan } 1, 2, 3, 5, 6, 8, \\
 &10, 12, 13, 17, 18, 20, 22, 24, 25, 29, 34, 36, \\
 &41, 45, 49)
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 &= 1 - (0,0002646 + 0,000003832 + \\
 &0,002999 + 0,00021777 + 0,0021505 \\
 &+ 0,00003784 + 0,00002329 + \\
 &0,0015185 + 0,009228 + 0,0001433 \\
 &+ 0,006989 + 0,0001868 + \\
 &0,00007076 + 0,0006151 + \\
 &0,0113575 + 0,0014155 + 0,0002299 \\
 &+ 0,003737 + 0,0011355 + \\
 &0,0034504 + 0,0006988) \\
 &= 1 - 0,04647 \\
 &= 0,9953 \\
 &= 99,53 \%
 \end{aligned}$$

Karena kegiatan pemuatan/ *loading* material dilakukan pada tahap 1, maka didapatkan jumlah truk yang dapat dilayani adalah:

$$\begin{aligned}
 I &= 1 \times \mu 1 \\
 &= 0,9953 \times 10 \text{ truk/jam} \\
 &= 9,953 \text{ truk/jam} \sim 10 \text{ truk/jam}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 W_{q1} &= L_{q1} / \mu 1 \\
 &= \frac{1,5}{9,953} \text{ /jam} \\
 &= 0,1562 \text{ jam} \\
 &= 9,377 \text{ menit}
 \end{aligned}$$

d) W_{q3}

Yaitu waktu tunggu alat angkut saat akan *dumping overburden* di disposal. Sehingga didapatkan waktu tunggu alat angkut pada saat akan *dumpng* adalah sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 W_{q3} &= L_{q3} / \mu 3 \\
 &= \frac{0,01613}{9,953} \text{ /jam} \\
 &= 0,00162 \text{ jam} \\
 &= 0,0972 \text{ menit}
 \end{aligned}$$

4) Jumlah truk yang dibutuhkan

Berdasarkan teori antrian maka total waktu edar (*cycle time*) alat angkut adalah sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 CT \text{ total} &= \left(\frac{1}{\mu 1} + \frac{1}{\mu 2} + \frac{1}{\mu 3} + \frac{1}{\mu 4} + W_{q1} + W_{q3} \right) \\
 &= \left(\frac{1}{1} + \frac{1}{8} + \frac{1}{7} + \frac{1}{1} + 0,1562 + \right. \\
 &0,00162) \\
 &= 0,47082 \text{ jam} \\
 &= 28,2492 \text{ menit}
 \end{aligned}$$

Sehingga didapatkan tingkat kedatangan truk di *front loading* ataupun di disposal adalah:

$$\begin{aligned}
 I &= 3 = \frac{1}{C_1} \\
 &= \frac{1}{0,4} \text{ jam /jam} \\
 &= 2,213 \text{ truk/jam} \sim 3 \text{ truk/jam} \\
 &= 3 \text{ truk/jam}
 \end{aligned}$$

Jadi berdasarkan teori antrian jumlah truk yang dibutuhkan supaya sesuai dengan pelayanan adalah:

$$N = \frac{\mu_1}{\lambda} = \frac{11,82 \text{ truk/jam}}{3,3 \text{ truk/jam}} = 3,58 \approx 4 \text{ truk/jam}$$

4.6.3.2 PC 1250 ATP 08 melayani dumptruck HD 465 AR34

1) Penentuan tingkat pelayanan (μ)

a) Tahap 1

$$T_1 = \text{Delay time} + \text{loading time} = 3,36 \text{ menit} + 1,7 \text{ menit} = 5,06 \text{ menit}$$

$$\mu_1 = \frac{1}{5,06 \text{ m}} \times 60 \text{ menit} = 11,82 \text{ truck/jam} = 12 \text{ truck/jam}$$

b) Tahap 2

$$T_2 = \text{Hauling time} = 2,78 \text{ menit}$$

$$\mu_2 = \frac{1}{2,78 \text{ m}} \times 60 \text{ menit} = 21,54 \text{ truck/jam} = 23 \text{ truck/jam}$$

c) Tahap 3

$$T_3 = \text{Dumping time} = 0,616 \text{ menit}$$

$$\mu_3 = \frac{1}{0,616 \text{ m}} \times 60 \text{ menit} = 97,40 \text{ truck/jam} = 98 \text{ truck/jam}$$

d) Tahap 4

$$T_4 = \text{Returning time} = 2,48 \text{ menit}$$

$$\mu_4 = \frac{1}{2,48 \text{ m}} \times 60 \text{ menit} = 24,19 \text{ truck/jam} = 25 \text{ truck/jam}$$

2) Probabilitas keadaan antrian

Jumlah alat angkut (N) yang dilayani oleh PC 1250 ATP 08 adalah 4 unit dumptruck dengan 4 tahap antrian (M). Sehingga didapatkan banyaknya kemungkinan keadaan antrian adalah sebagai berikut:

$$\frac{(N+M-1)}{N} = \frac{(N+M-1)!}{(M-1)!(N)!} = \frac{(4+4-1)!}{(4-1)!(4)!} = \frac{7!}{3!4!} = 35 \text{ keadaan}$$

Untuk menghitung probabilitas koefisien antrian putaran tiap keadaan sistem, contohnya untuk koefisien (0.0.0.4) dapat dihitung dengan rumus:

$$\text{Koefisien } P(0.0.0.4) = \frac{\mu_1^{(N-n_1)}}{n_1! \mu_2^{n_2} n_2! \mu_3^{n_3} n_3! \mu_4^{n_4} n_4!}$$

$$= \frac{11,82^{(4-0)}}{0! 2! 0! 2! 0! 2! 4!} = \frac{1}{(1)(2)(1)(2)(1)(2)(4)} = \frac{1}{256} = 0,00221$$

Perhitungan ini digunakan untuk setiap koefisien keadaan sistem hingga keadaan P(1.1.1.1). Dari tabel 21 didapatkan nilai dari jumlah koefisien dan seluruh keadaan sistem adalah sebesar 2,7821 dan nilai koefisien P(4.0.0.0) adalah 1, maka untuk probabilitas keadaan adalah sebagai berikut:

$$P(4.0.0.0) = \frac{1}{2,7} = 0,3594$$

Sehingga didapatkan nilai probabilitas keadaan sebagai berikut:

$$P(0.0.0.4) = \text{koefisien } P(0.0.0.4) \times P(4.0.0.0) = 0,00221 \times 0,3594 = 0,000794$$

Tabel 21 . Probabilitas keadaan antrian PC 1250 ATP 08 dengan 4 unit HD 465-7 AR 34 pada fleet 2.

Nomor Keadaan	Keadaan Sistem				Koefisien	Probabilitas Keadaan
	n1	n2	n3	n4		
1	0	0	0	4	2.21184E-03	7.95004E-04
2	0	0	4	0	2.24813E-04	8.08047E-05
3	0	4	0	0	3.08747E-03	1.10973E-03
4	4	0	0	0	1.00000E+00	3.59431E-01
5	0	0	1	3	2.25698E-03	0.000811229
6	0	1	0	3	9.61670E-03	0.003456541
7	1	0	0	3	1.84320E-02	0.006625037
8	0	1	3	0	9.57897E-04	0.000344298
9	1	0	3	0	1.83597E-03	0.000659905
10	0	0	3	1	8.81265E-04	0.000316754
11	1	3	0	0	2.36706E-02	0.008507948
12	0	3	1	0	2.89844E-03	0.001041789
13	0	3	0	1	1.13619E-02	0.004083815
14	3	1	0	0	5.21739E-01	0.187529343
15	3	0	1	0	1.22449E-01	0.044011989
16	3	0	0	1	4.80000E-01	0.172526996
17	0	0	2	2	1.72728E-03	0.000620839
18	0	2	0	2	1.56794E-02	0.005635664
19	2	0	0	2	1.15200E-01	0.041406479
20	2	0	2	0	1.49938E-02	0.005389223
21	0	2	2	0	2.04074E-03	0.000733505

22	2	2	0	0	1.36106E-01	0.048920698
23	1	1	2	0	7.82283E-03	0.002811769
24	1	0	1	2	1.41061E-02	0.005070181
25	0	1	1	2	7.35972E-03	0.002645312
26	0	1	2	1	3.75496E-03	1.34965E-03
27	1	2	1	0	1.66660E-02	5.99029E-03
28	2	0	1	1	5.87755E-02	2.11258E-02
29	1	2	0	1	6.53308E-02	2.34819E-02
30	1	0	2	1	7.19700E-03	2.58683E-03
31	1	1	0	2	6.01043E-02	2.16034E-02
32	1	0	2	1	7.19700E-03	2.58683E-03
33	0	2	1	1	7.99969E-03	2.87534E-03
34	1	1	2	0	7.82283E-03	2.81177E-03
35	1	1	1	1	3.06655E-02	0.011022133
Total					2.78217E+00	1.00000E+00

3) Perhitungan Lq1, Lq3, Wq1 dan Wq3

a) Lq1

Adalah antrian alat angkut saat proses pemuatan *overburden* oleh alat gali muat dengan syarat nilai $n_1 > 1$ (Tabel 21, kolom ke-2).

$$\begin{aligned}
 L_{q1} &= (1 \times (\text{Probabilitas keadaan 19, 20, 28})) + (2 \times (\text{probabilitas keadaan 14, 15, 16})) + (3 \times (\text{probabilitas keadaan 4})) \\
 &= (1 \times (0,0414 + 0,005389 + 0,02112)) + (2 \times (0,18752 + 0,04401 + 0,17252)) + (3 \times (0,3594)) \\
 &= 1,9542 \sim 2 \text{ truk} \\
 &= 2 \text{ truk}
 \end{aligned}$$

b) Lq3

Adalah antrian alat angkut saat akan *dumping overburden* di *disposal* dengan syarat nilai $n_3 > 1$ (Tabel 21 , kolom ke – 4)

$$\begin{aligned}
 L_{q3} &= (1 \times (\text{Probabilitas keadaan 17, 20, 21, 23,26,30, 32, 34})) + (2 \times (\text{Probabilitas keadaan 8, 9, 10})) + (3 \times (\text{Probabilitas keadaan 2})) \\
 &= (1 \times (0,0006208 + 0,005389 + 0,007335 + 0,002811 + 0,001349 + 0,002586 + 0,002586 + 0,002811)) + (2 \times (0,000344 + 0,0006599 + 0,0003167)) + (3 \times (0,0002424)) \\
 &= 0,02837 \text{ truk} \sim 1 \text{ truk} \\
 &= 1 \text{ truk}
 \end{aligned}$$

c) Wq1

Adalah waktu tunggu alat angkut pada saat akan *loading* oleh alat gali-muat. Untuk menentukan nilai Wq1 maka terlebih dahulu harus dihitung tingkat kesibukan (ρ) *excavator*, sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 \rho &= 1 - P(0, n_2, n_3, n_4) \\
 &= 1 - (\text{Probabilitas keadaan 1, 2, 3, 5, 6, 8, 10, 12, 13, 17, 18, 21, 25, 26, 33}) \\
 &= 1 - (0,000795 + 0,0000808 + 0,0011097 + 0,000811 + 0,003456 + 0,000344 + 0,0003167 + 0,001041 + 0,004083 + 0,0006208 + 0,005635 + 0,0007335 + 0,002645 + 0,001349 + 0,002875) \\
 &= 1 - 0,02589 \\
 &= 0,9741 \\
 &= 97,41 \%
 \end{aligned}$$

Karena kegiatan pemuatan ada pada tahap 1 yaitu tahap pelayanan pemuatan *dumprtruck*, maka jumlah truk yang dapat dilayani adalah sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 I &= \rho \times \mu_1 \\
 &= 0,9741 \times 12 \text{ truk/jam} \\
 &= 11,6892 \text{ truk/jam}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 W_{q1} &= L_{q1} / \rho \\
 &= \frac{1,9}{0,9741} \text{ jam} \\
 &= 0,16717 \text{ jam} \\
 &= 10,0302 \text{ menit}
 \end{aligned}$$

d) Wq3`

Yaitu waktu tunggu alat angkut saat akan *dumping* material *overburden* di *disposal*.

$$\begin{aligned}
 W_{q3} &= L_{q3} / \rho \\
 &= \frac{0,0}{0,9741} \text{ jam} \\
 &= 0,00242 \text{ jam} \\
 &= 0,1452 \text{ menit}
 \end{aligned}$$

4) Jumlah truk yang dibutuhkan

Berdasarkan penerapan teori antrian maka didapatkan total waktu edar/ *cycle time* alat angkut adalah:

$$\begin{aligned}
 CT \text{ total} &= \left(\frac{1}{\mu_1} + \frac{1}{\mu_2} + \frac{1}{\mu_3} + \frac{1}{\mu_4} + W_{q1} + W_{q3} \right) \\
 &= \left(\frac{1}{1} + \frac{1}{2} + \frac{1}{9} + \frac{1}{2} + 0,16717 \text{ jam} + 0,00242 \text{ jam} \right) \\
 &= 0,34579 \text{ jam} \\
 &= 20,7474 \text{ menit}
 \end{aligned}$$

Jadi didapatkan tingkat kedatangan truk di *front loading* ataupun di *disposal* adalah:

$$= 1 = 3 = \frac{1}{c}$$

$$= \frac{1}{0,3 \text{ jam /tr}}$$

$$= 2,8919 \text{ truk/jam} \sim 3 \text{ truk/jam}$$

$$= 3 \text{ truk/jam}$$

Jadi jumlah truk yang dibutuhkan adalah:

$$N = \frac{H_1}{A}$$

$$= \frac{1 \text{ tr} / \text{jam}}{0,25 \text{ /jam}}$$

$$= 4 \text{ truk/jam}$$

4.7 Produksi yang Didapatkan Berdasarkan Teori Antrian

1. Fleet 1

Produksi *Fleet 1* = Q x n
 = 57,99 BCM/jam x 4 truk
 = 231,96 BCM/jam

Total produksi = Produksi *fleet 1*/ jam x Wh
 = 231,96 BCM/jam x 340,5 jam
 = 78.982,38 BCM

Jadi total produksi dari perhitungan teori antrian adalah sebesar 78.982,38 BCM.

2. Fleet 2

Produksi *Fleet 2* = Q x n
 = 90,24 BCM/jam x 4
 = 360,96 BCM/jam

Total produksi = Produksi *fleet 2*/ jam x Wh
 = 360,96 BCM/jam x 340,5 jam
 = 122.906,88 BCM

Jadi total produksi pada *fleet 2* menurut teori antrian adalah sebesar 122.906,88 BCM.

3. Fleet 3

Produksi *Fleet 3* = Q x n
 = 118,9 BCM/jam x 5
 = 594,5 BCM/jam

Total produksi = Produksi *fleet 3*/jam x Wh
 = 594,5 BCM/jam x 340,5 jam
 = 202.427,25 BCM

Jadi total produksi pada *fleet 3* menurut teori antrian adalah sebesar 202.427,25 BCM.

4. Fleet 4

Produksi *Fleet 4* = Q x n
 = 101,35 BCM/jam x 4 truk
 = 405,4 BCM/jam

Total produksi = Produksi *fleet 4*/jam x Wh
 = 405,4 BCM/jam x 340,5 jam
 = 138.038,7 BCM

Jadi total produksi pada *fleet 4* menurut teori antrian adalah sebesar 138.038,7 BCM.

4.8 Setingan Dumptruck Berdasarkan Metode Kapasitas Produksi dan Teori Antrian

Setelah mendapatkan hasil dari perhitungan jumlah *dumptruck* dari metoda kapasitas produksi dan teori antrian pada alat gali-muat PC 1250 dengan alat angkut HD 465 - 7, maka didapatkan setingan alat pada tabel 25. berikut:

Tabel 25. Setingan alat berdasarkan metoda kapasitas produksi dan teori antrian.

Fleet	Material	Jumlah Alat Angkut		
		Hasil perhitungan		
		Aktual	Metode kapasitas produksi	Teori antrian
Fleet 1	Clay	5	5	4
Fleet 2	Clay	4	4	4
Fleet 3	Clay	5	4	5
Fleet 4	Clay	5	4	4

5. Kesimpulan dan Saran

5.1 Kesimpulan

1. Dari hasil perhitungan produksi alat gali muat *excavator* Komatsu PC 1250 LC dan alat angkut *dump truck* HD 465-7 didapatkan produksi yang tidak sesuai dengan target perusahaan. Untuk *excavator* Komatsu PC 1250 perusahaan menetapkan target produksi sebesar 500 BCM/ jam.
2. Pada bulan Agustus 2017 nilai keserasian alat PC 1250 (ATP 04, 08, 05 dan 07) dengan masing-masing truk secara berurutan adalah 1.10, 1.4, 1.5, dan 1.36.
3. Berdasarkan metoda kapasitas produksi PC 1250 (ATP 04) membutuhkan 6 unit *dump truck*, PC 1250 (ATP 08) membutuhkan 4 unit *dump truck*, PC 1250 (ATP 05) membutuhkan 4 unit *dump truck*, dan PC 1250 (ATP 07) membutuhkan 4 unit *dump truck*.
4. Berdasarkan metode antrian PC 1250 (ATP 04) membutuhkan 5 unit *dump truck*, PC 1250 (ATP 08) membutuhkan 4 unit *dump truck*, PC 1250 (ATP 05) membutuhkan 5 unit *dump truck*, dan PC 1250 (ATP 07) membutuhkan 4 unit *dump truck*.

5.2 Saran

1. Dengan menggunakan alat angkut sesuai dengan pelayanan alat muat diharapkan dapat mengurangi waktu antrian alat angkut pada waktu pemuatan maupun waktu penumpahan sehingga waktu edar dapat dipercepat dan efisiensi kerja dapat meningkat. Perlunya dilakukan perbaikan sedini mungkin pada beberapa peralatan tambang yang sering mengalami kerusakan.
2. Perlunya dilakukan perbaikan sedini mungkin pada beberapa peralatan tambang yang sering mengalami kerusakan.

3. Peningkatan waktu kerja efektif dengan cara mengurangi hambatan-hambatan yang dapat dihindari oleh operator *dump truck* maupun operator *excavator*.
4. Perlu adanya pelebaran jalan pada *spot-spot* tertentu. Ini dikarenakan pada jalan tertentu *dump truck* tidak bisa saling berpas-pasan dan menyebabkan adanya salah satu *dump truck* yang harus mengalah.

Daftar Pustaka

- [1] Partanto Prodjosumarto. *Pemindahan Tanah Mekanis*. Bandung: Institut Teknologi Bandung (1995).
- [2] Kumaran, Santhosh Kelathodi, Debi Prosad Dogra dan Partha Pratim Roy. *Queuing Theory Guided Intelligent Traffic Scheduling Through Video Analysis Using Dirichlet Process Mixture Model*. arXiv: 1803.06480v1 [cs.CV] 17 (2018).
- [3] Indonesianto, Yanto. *Pemindahan Tanah Mekanis*. Yogyakarta: UPN Veteran Yogyakarta. (2010)
- [4] Kontjojo. 2009. *Metode Penelitian*.
- [5] Agung, Septian Yudha. *Kajian Improvisasi Produksi Penggalan Overburden Pada Awal Produksi Selama Dayshift Guna Mencapai Target Produksi Pada Pit Pinggang Timur Di Pt.Artamulia Tata Pratama*”, Teknik Pertambangan Universitas Sriwijaya, Palembang (2014)
- [6] Prasmoro, Alloysius Vendhi. *Optimasi Produksi Dump Truck Volvo FM 440 Dengan Metode Kapasitas Produksi dan Teori Antrian Di Lokasi Pertambangan Batubara*. Jurnal OE, Vol VI, Maret No. 1, 2014: 93-102 (2014).
- [7] Sugiarto dkk. *Efisiensi Penggunaan Waktu Pengisian Overburden Ke Dump Truck Pada PT. Pama Persada Nusantara Distrik Biaya Kutai Kartanegara*. Fakultas Ekonomi Universitas 17 Agustus 1945 Samarinda (2012)
- [8] Andri. *Evaluasi Kemampuan Alat Gali muat dan Alat Angkut Dengan Menerapkan Metode Antrian Pada Prospek 2 Stage 3 PT. Bukit Bara Utama Bengkulu*. Universitas Sriwijaya, Sumatera Selatan (2007)
- [9] Sentosa, Hari, Sumarya, dan Yoszi Mingsi Anaperta. *Analisis Teknik Kebutuhan Alat Gali Muat dan Alat Angkut Menggunakan Simulasi Teori Antrian Pada Produksi Batu Kapur Area Eksisting 206 PT. Semen Padang (Persero) TBK*. Universitas Negeri Padang (2018).
- [10] Sugiyono. *Metode Penelitian* (2012).