



**OPTIMASI PRODUKSI PADA PENAMBANGAN
BATUBARA DENGAN METODE *MATCH FACTOR*,
ANTRIAN DAN *LINEAR PROGRAMMING*
(Studi Kasus di PT RML Jobsite KTD)**

TESIS

**ALLOYSIUS VENDHI PRASMORO
55314110005**

**PROGRAM STUDI MAGISTER TEKNIK INDUSTRI
PROGRAM PASCASARJANA
UNIVERSITAS MERCU BUANA
2016**



**OPTIMASI PRODUKSI PADA PENAMBANGAN
BATUBARA DENGAN METODE *MATCH FACTOR*,
ANTRIAN DAN *LINEAR PROGRAMMING*
(Studi Kasus di PT RML Jobsite KTD)**

TESIS

**Diajukan Sebagai Salah Satu Syarat untuk Menyelesaikan Program
Pascasarjana pada Program Magister Teknik Industri**

**ALLOYSIUS VENDHI PRASMORO
55314110005**

**PROGRAM STUDI MAGISTER TEKNIK INDUSTRI
PROGRAM PASCASARJANA
UNIVERSITAS MERCU BUANA
2016**

PENGESAHAN TESIS

Judul : Optimasi Produksi Pada Penambangan Batubara
dengan Metode *Match Factor*, Antrian dan *Linear
Programming* (Studi Kasus di PT RML Jobsite KTD)
Nama : Alloysius Vendhi Prasmoro
NIM : 55314110005
Program : Pascasarjana - Program Studi Magister Teknik Industri
Tanggal : 30 Juli 2016

Pembimbing



(Dr. Sawarni Hasibuan, MT)

Direktur
Program Pascasarjana



(Prof. Dr. Didik J. Rachbini)

Ketua Program Studi
Magister Teknik Industri



(Dr. Lien Herliani Kusumah, MT)

PERNYATAAN KEASLIAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini menyatakan dengan sebenar – benarnya bahwa semua tulisan dan pernyataan dalam Tesis ini :

Judul : Optimasi Produksi Pada Penambangan Batubara Dengan Metode *Match Factor*, Antrian dan *Linear Programming* (Studi Kasus di PT RML Jobsite KTD)

Bentuk Karya Akhir : Tesis

Nama : ALLOYSIUS VENDHI PRASMORO

NIM : 55314110005

Program : Pascasarjana Program Studi Magister Teknik Industri

Tanggal : 30 Juli 2016

Merupakan hasil studi pustaka, penelitian, dan karya saya sendiri dengan arahan pembimbing yang ditetapkan dengan Surat Keputusan Ketua Program Studi Magister Teknik Industri, Universitas Mercu Buana.

Tesis ini belum pernah diajukan untuk memperoleh gelar magister (S2) pada program sejenis di perguruan tinggi lain. Semua informasi, data, serta hasil pengolahannya yang dituliskan pada tesis ini, telah dinyatakan secara jelas sumbernya dan dapat diperiksa kebenarannya.

Jakarta, 30 Juli 2016



(Alloysius Vendhi Prasmoro)

PEDOMAN PENGGUNAAN TESIS

Tesis S2 yang tidak dipublikasikan terdaftar dan tersedia di perpustakaan Universitas Mercu Buana, Kampus Menteng, dan terbuka untuk umum dengan ketentuan bahwa hak cipta ada pada pengarang dengan mengikuti aturan HaKI yang berlaku di Universitas Mercu Buana. Referensi kepustakaan diperkenankan dicatat, tetapi pengutipan atau peringkasan hanya dapat dilakukan seizin pengarang dan harus disertai dengan kebiasaan ilmiah untuk menyebutkan sumbernya.

Memperbanyak atau menerbitkan sebagian atau seluruh tesis haruslah seizin Direktur Program Pascasarjana UMB.

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kepada Tuhan Yang Maha Kuasa, yang senantiasa melimpahkan berkah dan karunia-Nya kepada penulis sehingga penulis dapat menyelesaikan penulisan tesis ini. Penulisan tesis dengan judul **Optimasi Produksi Pada Penambangan Batubara dengan Metode *Match Factor*, Antrian dan *Linear Programming* (Studi Kasus di PT RML Jobsite KTD)** ini dimaksudkan sebagai salah satu syarat untuk menyelesaikan Program Pascasarjana Program Studi Magister Teknik Universitas Mercu Buana Jakarta.

Pada kesempatan ini, penulis mengucapkan rasa terima kasih kepada semua pihak yang telah membantu dalam menyelesaikan penulisan tesis ini. Secara khusus pada kesempatan ini penulis menyampaikan terima kasih kepada :

1. Dr. Sawarni Hasibuan, MT, selaku Dosen Pembimbing yang telah memberikan bimbingan dan arahan kepada penulis selama penulisan tesis ini dari awal hingga tesis ini dapat diselesaikan.
2. Prof. Dr. Didik J. Rachbini, selaku Direktur Program Pascasarjana Universitas Mercu Buana Jakarta yang telah berupaya meningkatkan suasana kondusif di lingkungan Program Pascasarjana.
3. Dr. Lien Herliani Kusumah, MT, selaku Ketua Program Studi Magister Teknik Industri Universitas Mercu Buana Jakarta beserta jajarannya yang telah berkenan memberikan saran dalam penyempurnaan tesis ini.
4. Segenap Dosen dan Staf Administrasi Program Studi Magister Manajemen Universitas Mercu Buana Jakarta yang telah membantu penulis dalam memperkaya ilmu pengetahuan dan memperlancar berjalannya program perkuliahan.
5. Rekan-rekan mahasiswa Program Studi Magister Teknik Industri angkatan ke-15 Kelas Sabtu Kampus Menteng, atas kerjasama dan bantuannya selama menempuh perkuliahan sampai selesainya penulisan tesis ini.
6. Para Pimpinan dan Karyawan PT. Riung Mitra Lestari *Head Office* Bekasi dan *Job Site* KTD atas bantuannya selama proses penelitian yang penulis lakukan.

7. Istriku tercinta, Yayuk Sri Rahayu, SE serta anakku, Louis Devandra Atindriya, yang selalu memberikan semangat dan dorongan guna menyelesaikan penulisan tesis ini.
8. Semua pihak yang tidak dapat penulis sebutkan satu persatu, yang telah membantu selama penulisan tesis ini.

Penulis menyadari bahwa dalam penulisan tesis ini masih banyak terdapat kekurangan sehingga penulis mengharapkan saran dan kritik yang membangun dari semua pihak yang membaca dan mempergunakan tesis ini di kemudian hari. Terakhir penulis berharap semoga tesis ini dapat memberikan sumbangsih ilmu pengetahuan dan masukan terkait masalah sumber daya manusia pada perusahaan-perusahaan di tanah air.

Jakarta, 30 Juli 2016



Alloysius Vendhi Prasmoro
(Penulis)

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 Tenggara 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 25 units, while the queuing method and linear programming as much as 26 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: *excavator, dump truck, match factor, production optimize, queuing theory, linear programming*

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 yaitu di Desa Embalut, Kecamatan Tenggarong Seberang, Kabupaten Kutai Kertanegara, Kalimantan Timur pada bulan Oktober-November 2015. Alat muat yang digunakan adalah 5 unit *excavator backhoe* dan 32 unit *dump truck*. Hasil simulasi dengan metode *match factor* dihasilkan kebutuhan optimal *dump truck* sebanyak 25 unit, sementara dengan metode antrian dan *linier programming* sebanyak 26 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: *excavator, dump truck, match factor, optimasi produksi, teori antrian, linear programming*

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
PENGESAHAN TESIS	ii
PERNYATAAN KEASLIAN.....	iii
PEDOMAN PENGGUNAAN TESIS	iv
KATA PENGANTAR	v
<i>ABSTRACT</i>	vii
ABSTRAK	viii
DAFTAR ISI	ix
DAFTAR GAMBAR	xiii
DAFTAR TABEL	xv
DAFTAR ISTILAH	
xvii	
DAFTAR LAMPIRAN	
.....	xviii
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1. Latar Belakang Masalah.....	1
1.2. Perumusan Masalah	11
1.3. Tujuan Penelitian	11
1.4. Manfaat Penelitian	11
1.5. Asumsi dan Pembatasan Masalah	11
BAB II KAJIAN PUSTAKA	13
2.1. Kajian Teori.....	13
2.1.1. Kegiatan Penambangan Batubara	13

2.1.2. Peralatan Penambangan Batubara	15
2.1.3. Produksi Alat Angkut dan Alat Gali Muat	17
2.1.4. Waktu Siklus (<i>Cycle Time</i>).....	19
2.1.5. Biaya Produksi	21
2.1.6. Teori Optimasi Produksi	22
2.1.7. Faktor Keserasian Alat (<i>Match Factor</i>).....	23
2.1.8. Teori Antrian	24
2.1.9. Teori <i>Linear Programming</i>	32
2.2. Ulasan Literatur Peneliti Terdahulu	34
2.3. Kerangka Pemikiran	42
BAB III. METODOLOGI PENELITIAN	43
3.1. Jenis dan Desain Penelitian.....	43
3.2. Data dan Informasi	43
3.3. Teknik Pengumpulan Data.....	45
3.4. Populasi dan Sampel	45
3.5. Instrumen Penelitian	46
3.6. Teknik Analisis Data	46
3.7. Tahapan Penelitian	49
BAB IV HASIL DAN ANALISIS	53
4.1. Hasil	53
4.1.1. Gambaran Umum Wilayah Penelitian	53
4.1.2. Lokasi Pengamatan Dan Kesampaian Daerah	54
4.1.3. Peralatan Tambang Utama	55
4.1.4. Target Produksi	55

4.1.5. Target Biaya Produksi	55
4.1.6. Faktor Pengisian <i>Bucket</i> dan <i>Vessel</i>	55
4.1.7. Faktor Efisiensi Kerja	56
4.1.8. Jalur Pengangkutan Material	56
4.1.9. Perhitungan <i>Cycle Time</i> dan Waktu Tunggu <i>Excavator</i> dan <i>Dump Truck</i>	57
4.1.10. Status Unit <i>Excavator</i> dan <i>Dump Truck</i>	64
4.1.11 Produksi Aktual Alat yang Digunakan dan <i>MF</i>	65
4.2. Analisis	67
4.2.1. Menentukan Jumlah <i>Dump Truck</i> Yang Optimal	67
4.2.2. Menentukan Jumlah Produksi Yang Optimal	78
4.2.3. Menentukan Biaya Produksi Yang Minimal	79
BAB V PEMBAHASAN	82
5.1. Temuan Utama	82
5.1.1 Perencanaan Kebutuhan DT Yang Optimal	82
5.1.2 Produksi Yang Optimal	84
5.1.3 Biaya Produksi Yang Minimal	86
5.2. Perbandingan dengan Penelitian Sebelumnya	89
5.3. Implikasi Industri	89
5.4. Keterbatasan Penelitian	90
BAB VI KESIMPULAN DAN SARAN	95
6.1. Kesimpulan	95
6.2. Saran	96
DAFTAR PUSTAKA	97

LAMPIRAN.....	103
DAFTAR RIWAYAT HIDUP.....	157

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1. Harga Batubara Acuan Periode Jan 2011- Jan 2015	2
Gambar 1.2. Pertumbuhan Produksi Batubara Indonesia (dalam Juta Ton) tahun 2009-2014	3
Gambar 1.3. Pencapaian Produksi Overburden (dalam BCM) <i>Job Site</i> KTD periode Januari-September 2015.....	5
Gambar 1.4. <i>Waterflow Loss Opportunity</i> Produksi Overburden Periode Januari-September 2015.....	6
Gambar 1.5. Produktivitas PC 400-8 Periode Januari-September 2015.	7
Gambar 1.6. Produktivitas Volvo FM 370 Periode Januari-September 2015....	7
Gambar 1.7. Utilisasi PC 400-8 Periode Januari-September 2015	8
Gambar 1.8. Utilisasi Volvo FM 370 Periode Januari-September 2015.....	8
Gambar 1.9. Biaya Aktivitas Produksi Periode Januari-September 2015	9
Gambar 2.1 Kegiatan Penambangan	13
Gambar 2.2 Waktu siklus <i>dump truck</i> / alat angkut	20
Gambar 2.3. Diagram metode optimasi dalam pemilihan unit	23
Gambar 2.4 Kombinasi <i>Match Factor</i> untuk Efisiensi DT & <i>Excavator</i>	24
Gambar 2.5. <i>Single channel single phase</i>	27
Gambar 2.6. <i>Single channel multiple phase</i>	27
Gambar 2.7 <i>Multiple channel single phase</i>	27
Gambar 2.8 <i>Multiple channel multiple phase</i>	28
Gambar 2.9 Sistem Antrian <i>Dump Truck</i> dan <i>Loader Excavator</i>	30
Gambar 2.10 Kerangka Pemikiran	42
Gambar 3.1. Tahapan Penelitian	52

Gambar 4.1 Peta Lokasi Daerah Penelitian.....	54
Gambar 4.2 Peta Jalur Lintasan <i>Dump Truck</i> tiap <i>Excavator</i>	56
Gambar 4.3 a. Hasil Uji Normalitas Data <i>Cycle Time</i> EX 425	58
Gambar 4.3 b. Hasil Uji Keseragaman Data <i>Cycle Time</i> EX 425	58
Gambar 4.4 a. Hasil Uji Normalitas Data <i>Cycle Time</i> DT di EX 425	60
Gambar 4.4 b. Hasil Uji Keseragaman Data <i>Cycle Time</i> DT di EX 425	61
Gambar 4.5 Simulasi Nilai MF Tiap Jumlah DT pada <i>Excavator</i>	69
Gambar 4.6 Probabilitas Berdasarkan Jumlah <i>Dump Truck</i>	73
Gambar 4.4 Simulasi Waktu Tunggu Ex 429	72
Gambar 4.5 Simulasi Jumlah Alat Angkut dan Biaya dengan Metode Antrian pada EX 429	73
Gambar 4.6 Simulasi Produksi Tiap Alat Muat	74
Gambar 5.1 Kurva Perbandingan Pencapaian Produksi Alat Angkut di EX 429	82

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1. Faktor Efisiensi Kerja	19
Tabel 2.2. Peneliti Terdahulu	42
Tabel 2.3. <i>State of The Arts</i>	42
Tabel 3.1. Variabel Penelitian	44
Tabel 4.1. Jenis Alat dan Jumlah Unit yang Digunakan	55
Tabel 4.2a. Waktu siklus (<i>Cycle Time</i>) Alat Gali-Muat dan Pengujian Data pada EX 429	57
Tabel 4.2b. Waktu Siklus (<i>Cycle Time</i>) Rata-Rata Alat Gali-Muat.....	58
Tabel 4.3a. Waktu Siklus (<i>Cycle Time</i>) DT pada EX 425	59
Tabel 4.3b. Waktu Siklus (<i>Cycle Time</i>) Rata- Rata <i>Dump Truck</i>	60
Tabel 4.4. Hasil Pengujian Distribusi <i>Poisson</i>	62
Tabel 4.5a. Waktu Tunggu <i>Dump Truck</i> di EX 425	63
Tabel 4.5b. Waktu Antrian Aktual <i>Dump Truck</i> di EX 425	63
Tabel 4.6. Produksi <i>Dump Truck</i> dengan Antrian dan Tanpa Antrian	64
Tabel 4.7a. Status unit <i>excavator</i>	65
Tabel 4. 7b. Status unit <i>dump truck</i>	65
Tabel 4.7c. Produksi dan <i>Match Factor</i> unit <i>excavator</i> dan <i>dump truck</i>	67
Tabel 4.8 .Simulasi Jumlah <i>Dump Truck</i> dengan <i>Match Factor</i> 1	68
Tabel 4.9. Jumlah <i>dump truck</i> dan nilai probabilitas (Po) untuk Ex 425.....	72
Tabel 4.10. Waktu Tunggu <i>Excavator</i> EX 425	76
Tabel 4.11. Jumlah DT Optimal dengan Waktu Tunggu	76
Tabel 4.12. Input Data di POM for Windows	77

Tabel 4.13. Output Solution Data di POM for Windows	77
Tabel 4.14. Jumlah <i>Dump Truck</i> hasil LP <i>POM for Windows</i>	77
Tabel 4.15. Produksi berdasarkan Jumlah DT dengan MF = 1	78
Tabel 4.16. Produksi berdasarkan Jumlah DT dengan Metode LP pada EX425	78
Tabel 4. 17. Biaya Produksi dengan Metode <i>Match Factor</i>	80
Tabel 4. 18. Biaya Produksi dengan Metode Antrian	80
Tabel 4. 19. Biaya Produksi dengan Metode <i>Linear Programming</i>	81
Tabel 5.1 Perbandingan Jumlah <i>Dump Truck</i>	83
Tabel 5.2a. Perbandingan Produktivitas Tiap <i>Dump Truck</i>	84
Tabel 5.2b. Perbandingan Volume Produksi Total <i>Dump Truck</i>	85
Tabel 5.3 Perbandingan Biaya Produksi <i>Dump Truck / Hauling Cost</i>	87
Tabel 5.4 Perbandingan Biaya Produksi <i>Excavator / Loading Cost</i>	87
Tabel 5.5 Perbandingan Biaya Produksi Total / <i>Total Cost</i>	87
Tabel 5.6 Perbandingan dengan Penelitian Sebelumnya... ..	91

DAFTAR ISTILAH

Istilah	Pengertian
<i>Excavator</i>	: Alat berat yang terdiri dari <i>arm</i> (lengan), <i>boom</i> (bahu) serta <i>bucket</i> (alat keruk) dan digerakkan oleh tenaga hidrolis yang dimotori dengan mesin diesel dan berada di atas roda rantai (<i>trackshoe</i>)
<i>Dump Truck</i>	: Alat berat yang digunakan untuk memindahkan material dengan roda.
<i>BCM (Bank Cubic Meter)</i>	: Satuan kubikasi material dalam kondisi alami.
<i>Bucket</i>	: Alat keruk yang berada pada excavator untuk menggali dan mengambil material.
FM 370	: Tipe dump truck volvo dengan pengkodean (FM = kode dump truck dari volvo, 370 = power 370 HP (250 KW).
<i>Overburden</i>	: Semua lapisan tanah atau batua yang berada di atas lapisan bahan galian yang perlu dibuang terlebih dahulu untuk mendapatkan bahan galian tersebut.
PC 400-8	: Tipe <i>excavator</i> komatsu dengan pengkodean (P = kode komatsu untuk excavator, C:Crawler/menggunakan <i>track</i> , 400 = <i>size</i> /berat unit $400 \times 0.1 = 40$ Ton), - 8 : modifikasi ke 8
Stockpile	: Tempat penyimpanan sementara batubara sebelum dijual atau diangkut ke kapal.
<i>Swell Factor</i>	: Faktor pengembangan tanah dari kondisi alami menjadi tanah gembur.
<i>Top Soil</i>	: Tanah pucuk atau tanah merah sebagai lapisan paling atas.
<i>Vesssel</i>	: Bak truk

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran A. Spesifikasi Excavator Komatsu PC 400-8	103
Lampiran B. Spesifikasi Dump Truck / Alat Angkut Volvo FM 370.....	104
Lampiran C. <i>Cycle Time Excavator</i>	105
Lampiran D. <i>Cycle Time Dump Truck</i>	110
Lampiran E. Uji Normalitas Dan Keseragaman Data	115
Lampiran F. Data Hitungan <i>Match Factor</i>	122
Lampiran G. Data Hitungan Probabilitas Antrian	125
Lampiran H. Data Waktu Tunggu	128

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang Masalah

Berdasarkan UU No. 4 tahun 2009 tentang Pertambangan Mineral dan Batubara, disebutkan bahwa mineral dan batubara yang terkandung dalam wilayah hukum pertambangan Indonesia merupakan kekayaan alam tak terbarukan sebagai karunia Tuhan Yang Maha Esa yang mempunyai peranan penting dalam memenuhi hajat hidup orang banyak, karena itu pengelolaannya harus dikuasai oleh Negara untuk memberi nilai tambah secara nyata bagi perekonomian nasional dalam usaha mencapai kemakmuran dan kesejahteraan rakyat secara berkeadilan.

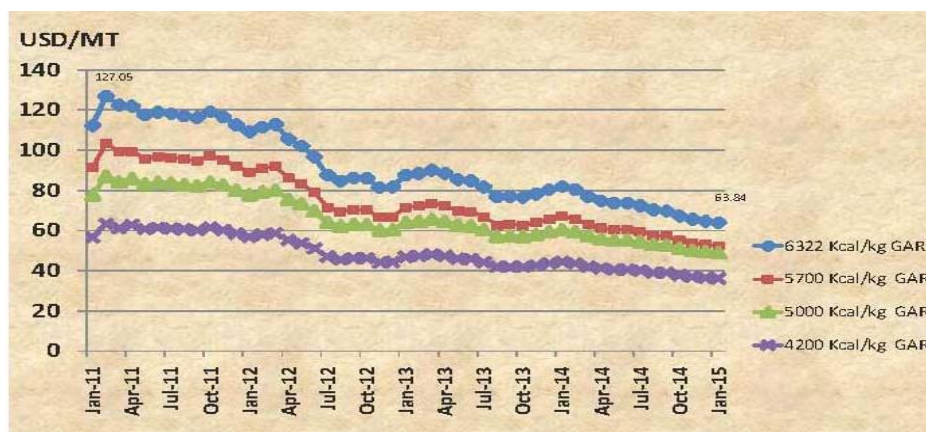
Pengertian pertambangan (UU No. 4 tahun 2009) adalah sebagian atau seluruh tahapan kegiatan dalam rangka penelitian, pengelolaan dan pengusahaan mineral atau batubara yang meliputi penyelidikan umum, eksplorasi, studi kelayakan, konstruksi, penambangan, pengolahan dan pemurnian, pengangkutan dan penjualan serta kegiatan pasca tambang.

Pertambangan merupakan suatu usaha menggali potensi sumber-sumber daya alam yang terdapat baik dalam permukaan bumi maupun dalam perut bumi yang mempunyai nilai ekonomi. Sektor pertambangan sekarang ini tetap menjadi salah satu sektor utama yang menggerakkan roda perekonomian Indonesia. Indikasi ini terlihat dari kontribusi penerimaan negara yang setiap tahunnya meningkat (Kementerian ESDM, 2015).

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. Kontribusi sektor

batubara terhadap penerimaan negara berupa pembayaran pajak dan non-pajak, termasuk pembayaran royalti. Namun peran dan keberlangsungan industri pertambangan batubara sangatlah rentan dengan volatilitas harga komoditas dan juga perkembangan ekonomi secara global. (APBI, 2012).

Kondisi ekonomi khususnya industri batubara saat ini sangat memprihatinkan karena berdasarkan Harga Batubara Acuan (HBA) yang dikeluarkan oleh Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral dari awal tahun 2011 sampai dengan saat ini, Harga Batubara Acuan (HBA) mengalami *trend* penurunan, pada Januari 2011 harga batubara adalah 112,40 USD per ton dan pada Oktober 2015 adalah 57,39 USD per ton. *Trend* penurunan harga batubara dari Januari 2011-Januari 2015 dapat dilihat pada Gambar 1.1.

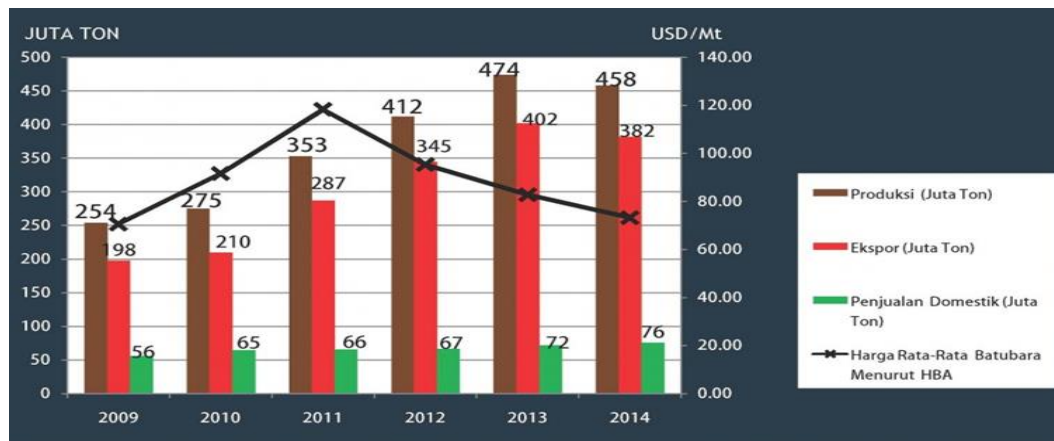


Gambar 1.1. Harga Batubara Acuan Periode Jan 2011-Jan 2015

Sumber : Direktorat Minerba, KESDM RI, 2014

Keadaan ini berdampak pada menurunnya ekspor batubara Indonesia ke beberapa negara konsumen batubara, sehingga secara otomatis berdampak terhadap penurunan produksi batubara di Indonesia. Kondisi harga batubara yang semakin menurun juga akan berdampak terhadap target produksi batubara.

Indonesia sebagai produsen batubara memiliki target produksi dari tahun ke tahun. Pada Tahun 2009 sampai dengan Tahun 2011 mengalami peningkatan sebesar 46%, sedangkan pada Tahun 2011 sampai dengan Tahun 2013 mengalami penurunan sebesar 3.5% (Direktorat Minerba KESDM RI, 2015). Data produksi batubara Indonesia dalam 5 tahun terakhir dari Direktorat Mineral dan Batubara, Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral yang ditunjukkan pada Gambar 1.2. Pada Gambar 1.2 menunjukkan tentang produksi batubara di Indonesia dari tahun 2009 sampai 2013.



Gambar 1.2. Pertumbuhan Produksi Batubara Indonesia (dalam Juta Ton) tahun 2009-2014.

Sumber : Direktorat Minerba, KESDM RI, 2014

Selain itu sejak 1 September 2014 telah diberlakukan peraturan ekspor terbatas untuk komoditas batubara yang sesuai dengan Peraturan Menteri Perdagangan (Permendag) Nomor 39/M-DAG/PER/7/2014 tentang Ketentuan Ekspor dan Produk Batubara. Pemerintah membatasi produksi batubara dalam rentang 2015-2030, maksimal 425 juta ton per tahun. Dengan beberapa kondisi di atas dapat berdampak terhadap perusahaan di sektor pertambangan batubara melakukan efisiensi agar tetap dapat melakukan proses produksinya atau bahkan agar dapat bertahan dalam menghadapi kondisi tersebut. Perusahaan di sektor batubara banyak melakukan terobosan ataupun inovasi khususnya yang berkaitan dengan proses operasional salah satunya adalah dengan cara optimalisasi produksi.. Optimalisasi produksi merupakan salah satu hal yang mendasar guna mencapai

hasil produksi yang optimal (Choudary, 2015). Optimalisasi produksi di pertambangan bisa dilakukan dengan berbagai cara yaitu melakukan optimalisasi kemampuan produksi alat berat *excavator* (alat gali muat) dan *dump truck* (alat angkut), efisiensi waktu kerja dan sebagainya (Choudary, 2015)

Optimalisasi kemampuan produksi alat berat merupakan faktor yang paling penting mengingat biaya yang dikeluarkan dalam operasional tambang banyak dihasilkan oleh aktivitas operasional alat berat. Alat berat memiliki banyak jenisnya, sehingga sebelum pelaksanaan produksi pemilihan alat berat harus disesuaikan dengan kebutuhan di lapangan. Pemilihan alat berat yang tepat akan berpengaruh terhadap produktivitas dan tercapainya target pekerjaan (Choudary, 2015).

Pada umumnya setiap pekerjaan yang menggunakan alat berat erat kaitannya dengan produktivitas. Produktivitas yang kurang maksimal dapat merugikan perusahaan. Produktivitas alat berat adalah kemampuan alat berat dalam menyelesaikan pekerjaan yang dihitung dalam satuan waktu. Produktivitas alat berat tergantung pada kapasitas *bucket*, *bucket factor*, *cycle time* dan faktor koreksi produksi (Nel, et al, 2011).

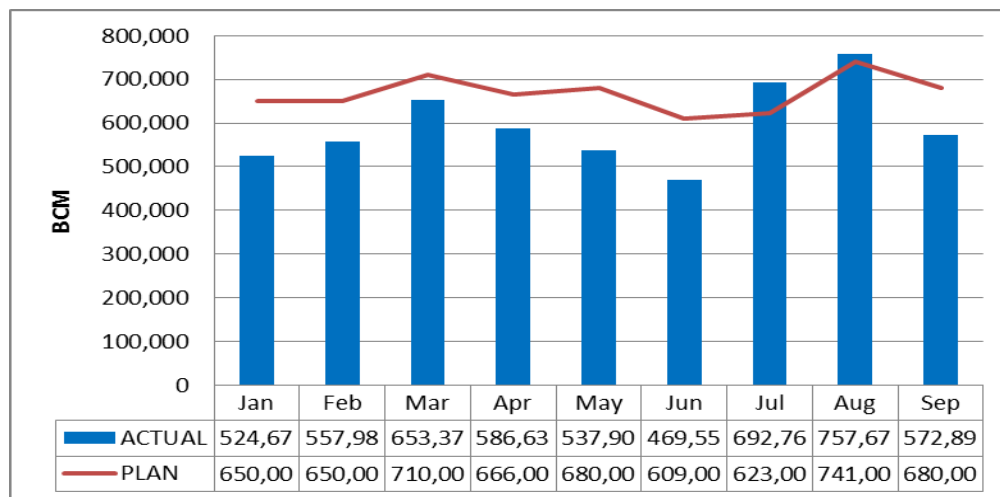
Dengan latar belakang industri saat ini, maka perlu dilakukan perencanaan skenario penambangan batubara dengan pendekatan optimalisasi kesesuaian peralatan. PT Riung Mitra Lestari (PT. RML) merupakan perusahaan kontraktor pertambangan batubara yang mengerjakan kegiatan aktivitas tambang dari pemilik konsesi tambang. Proses produksi yang dikerjakan berupa aktivitas pengupasan lapisan atas (*overburden*) dan aktivitas pengambilan batubara.

Untuk dapat mengetahui keberhasilan suatu perusahaan dapat dilihat melalui kinerja atau *performance* dari perusahaan tersebut, yang dapat diukur berdasarkan kualitas dan kuantitas *out put* yang dihasilkan serta efektivitas dalam proses pengerjaannya. Ukuran keberhasilan suatu perusahaan kontraktor tambang batubara dalam mencapai tujuan yang telah ditetapkan adalah pencapaian

produksi yang dihasilkan baik produksi *overburden* (OB) dan *coal* (batubara) serta efektivitas dalam melakukan proses produksi tersebut atau diistilahkan dengan *utilization of availability*.

Dalam rangka mencapai visi dan misi yang telah ditetapkan, PT RML menetapkan beberapa tujuan yang akan dicapai yaitu standar produktivitas dan keselamatan kerja yang optimal, *cost* yang terkendali dan profitabilitas yang optimal serta iklim kerja yang kondusif pada saat sekarang maupun yang akan datang.

Pemilik konsesi tambang PT Kitadin (PT. KTD) memiliki target produksi yang telah ditetapkan setiap bulannya. PT RML diberikan target produksi setiap bulannya dari PT KTD untuk memproduksi *overburden* dan batubara, serta kontraktor tambang harus mampu memenuhi target produksi yang ditetapkan tersebut. Gambar 1.3. merupakan target dan aktual produksi *overburden* dan batubara PT RML pada bulan Januari-September 2015. Pencapaian produksi *Overburden* selama bulan Januari-September 2015 tidak tercapai dari rencana total produksi sebesar 6.009.000 BCM (*Bank Cubic Metre*) dengan aktual total produksi sebesar 5.353.458 BCM atau hanya tercapai 89.09 %.

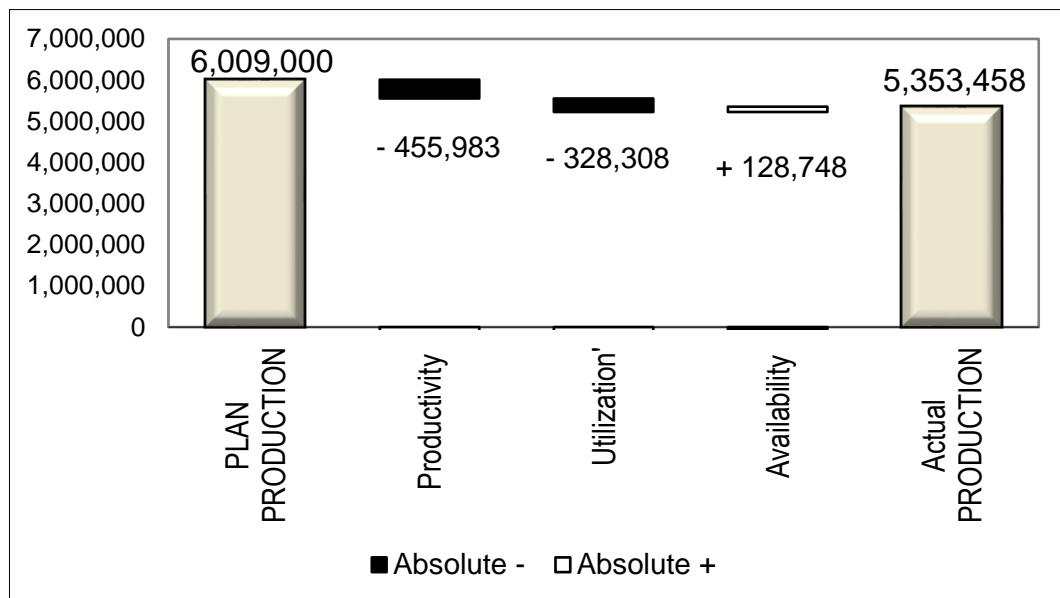


Gambar 1.3. Pencapaian Produksi *Overburden* (dalam BCM) *Job Site* KTD periode Januari-September 2015.

Sumber : Departemen Engineering PT RML, 2015

Faktor pencapaian produksi tersebut dipengaruhi oleh kemampuan unit atau peralatan yang digunakan pada proses penambangan. PT RML menggunakan peralatan tambang utama yaitu *Excavator* dengan tipe Komatsu PC 400-8 dan *Dump Truck* dengan tipe Volvo FM 370 dalam aktivitas produksi *overburden*. Kemampuan unit tersebut meliputi produktivitas, utilisasi dan availabilitas unit.

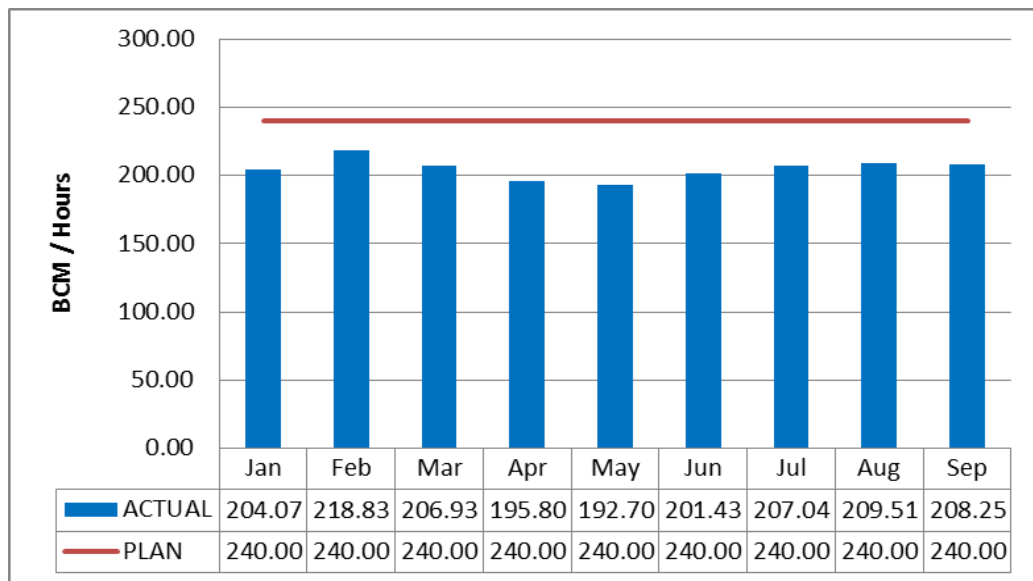
Ketidaktercapaian produksi tersebut disebabkan oleh adanya utilisasi dan produktivitas unit yang rendah. Hal ini dapat diperlihatkan dengan *waterflow lost opportunity* (diagram alir kesempatan yang hilang) pada Gambar 1.4 di bawah ini. Kontribusi (*absolute*) negatif menunjukkan *lost opportunity* atau hilangnya kesempatan produksi. Kontribusi negatif ditunjukkan dengan balok warna hitam yaitu pada *productivity* (produktivitas) dan *utilization* (utilisasi). Sedangkan kontribusi (*absolute*) positif menunjukkan *gained opportunity* atau penambahan kesempatan produksi yang ditunjukkan dengan balok warna putih yaitu pada *availability* (availabilitas). *Lost opportunity* dari produktivitas sebesar -455,983 BCM sedangkan dari utilisasi sebesar -328,308 BCM. Sedangkan *gained opportunity* pada availabilitas sebesar +128,748 BCM.



Gambar 1.4. *Waterflow Loss Opportunity* Produksi Overburden
Periode Januari-September 2015.

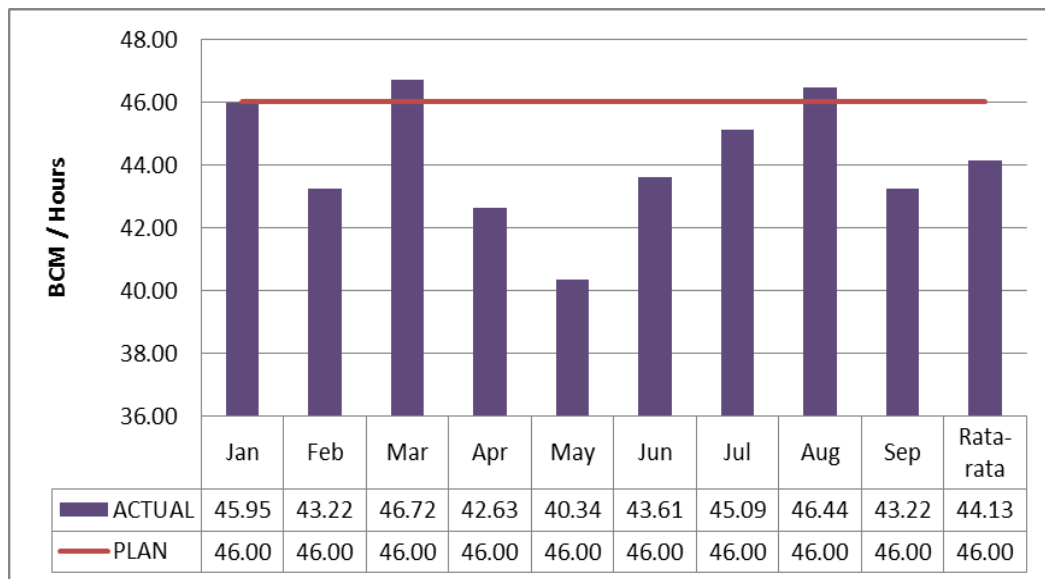
Sumber : Departemen Engineering PT RML, 2015

Berdasarkan pencapaian target produktivitas unit *Excavator* PC 400-8 juga menunjukkan hasil yang tidak sesuai dengan target yang ditentukan, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 1.5. Pencapaian utilisasi juga menunjukkan tidak tercapainya target yang diharapkan, seperti pada Gambar 1.7 dan Gambar 1.8. Dengan pencapaian target produktivitas dan utilisasi yang tidak tercapai menyebabkan biaya produksi juga tidak tercapai sesuai target, seperti pada Gambar 1.9.



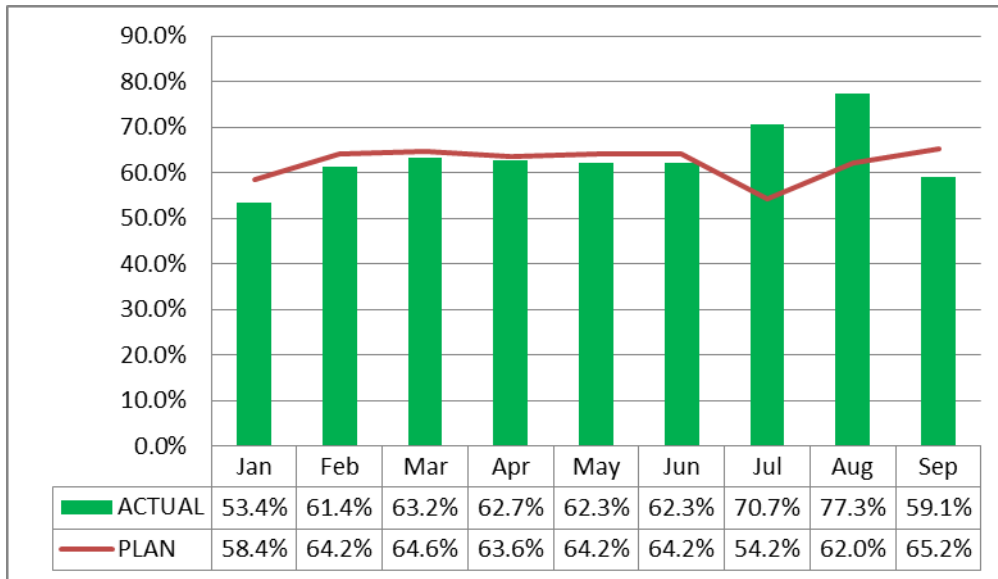
Gambar 1.5. Produktivitas PC 400-8 Periode Januari-September 2015.

Sumber : Departemen Engineering PT RML,2015



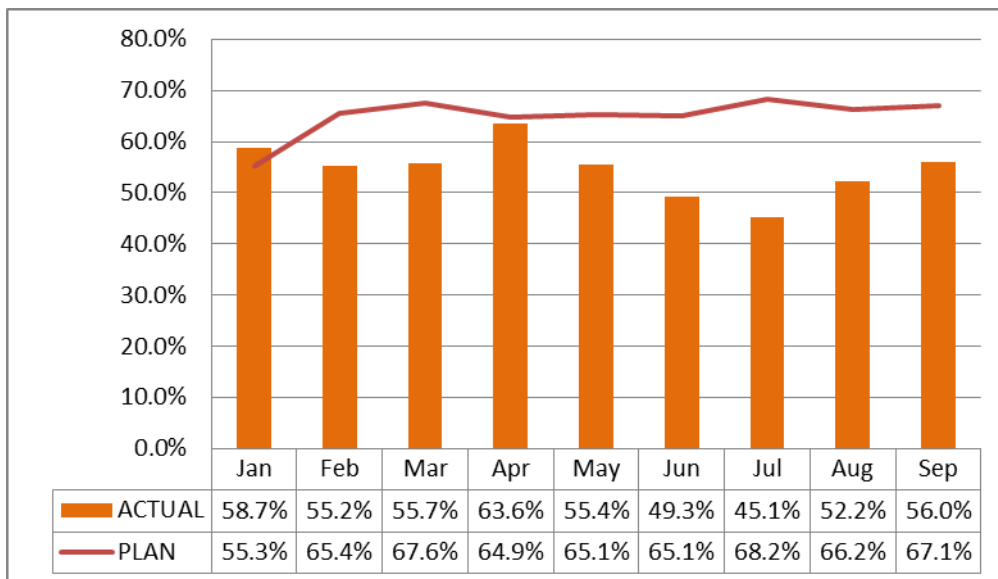
Gambar 1.6. Produktivitas Volvo FM 370 Periode Januari-September 2015.

Sumber : Departemen Engineering PT RML, 2015



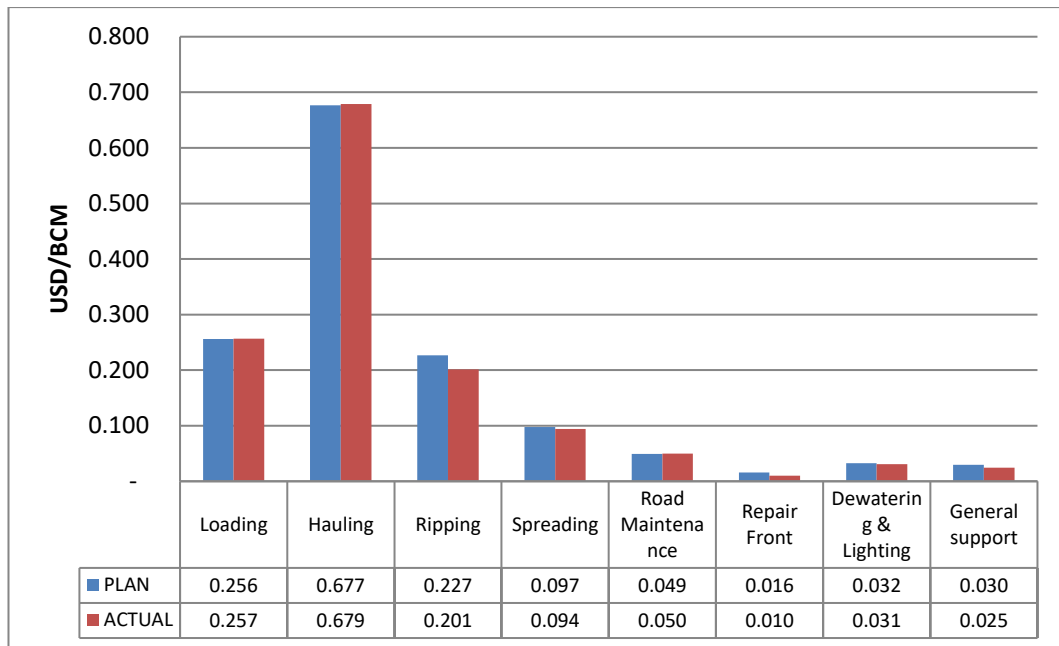
Gambar 1.7. Utilisasi PC 400-8 Periode Januari-September 2015.

Sumber : Departemen Engineering PT RML, 2015



Gambar 1.8. Utilisasi Volvo FM 370 Periode Januari-September 2015.

Sumber : Departemen Engineering PT RML, 2015



Gambar 1.9. Biaya Aktivitas Produksi Periode Januari-September 2015.

Sumber : Departemen Engineering PT RML, 2015

Berdasarkan *performance* tersebut, menunjukkan bahwa dari segi perencanaan dan operasional masih perlu perbaikan. Di sini perlu pengkajian kebutuhan peralatan yang merupakan salah satu bagian penting dalam perencanaan suatu pekerjaan tambang karena menyangkut aspek teknis dan ekonomis proyek. Aspek teknis meliputi jenis dan jumlah alat serta metode yang digunakan. Sedangkan aspek ekonomis meliputi biaya produksi dan biaya operasi. Kedua aspek tersebut secara bersamaan dapat digunakan untuk mengevaluasi kebutuhan peralatan dalam kegiatan penambangan.

Peralatan tambang dalam kegiatan penambangan mutlak dibutuhkan. Baik itu sebagai alat utama dalam proses penambangan, maupun sebagai alat penunjang kegiatan penambangan. Sebagai alat utama, *dump truck* dan *excavator* yaitu untuk melakukan kegiatan penambangan yang menghasilkan bongkahan bijih dan material lainnya, dan memegang peranan penting dalam rangkaian kegiatan penambangan.

Oleh karena itu perlu dilakukan optimasi mengenai penggunaan *dump truck* dan *excavator*, baik peralatan utama maupun peralatan penunjang. Dengan adanya proses optimasi yang dilakukan pada *dump truck* dan *excavator*, diharapkan dapat mendukung kegiatan penambangan agar lebih optimal dan dapat mengurangi biaya produksi penambangan.

PT RML, merupakan salah satu perusahaan tambang yang menggunakan metode penambangan terbuka, sehingga keberadaan *dump truck* dan *excavator* tidak dapat dipisahkan dari proses penambangan. Dengan penggunaan *dump truck* dan *excavator* yang lebih optimal diharapkan akan memberikan keuntungan untuk perusahaan dengan pendekatan optimasi.

Berdasarkan referensi peneliti terdahulu pendekatan optimasi yang digunakan yaitu dengan metode *Linear Programming* dan metode antrian. Hal ini seperti penelitian yang dilakukan oleh Ercelebl dan Bascetin (2009) yang menghasilkan model simulasi dengan pendekatan *Linear Programming* dan model antrian untuk meminimumkan biaya angkut dan biaya muat. Peneliti Newman, *et al* (2010) melakukan optimalisasi produksi dengan perencanaan yang baik berdasarkan metode linear programming dan antrian. Peneliti Morley *et. al.* (2012) melakukan penelitian dengan model simulasi yang menghasilkan kombinasi ideal antara *truck* dan *excavator* sehingga dapat menurunkan biaya produksi. Peneliti Sahoo (2012) meneliti alokasi truk dengan *linear programming* dan teori antrian yang menghasilkan jumlah dan alokasi truk yang optimal. Peneliti Nel (2011) meneliti tentang optimalisasi produktivitas dengan metode *match factor* dengan sistem algoritma *software Talpac*. Peneliti lainnya adalah Burt dan Cacceta (2013) dengan metode *linear programming* dan *match factor* dapat menghasilkan jumlah dan jenis alat yang digunakan secara tepat untuk mengurangi biaya produksi. Sedangkan peneliti May (2012) menjelaskan penggunaan metode antrian untuk melakukan perencanaan produksi dan siklus *dump truck* untuk produksi yang optimal. Beberapa penelitian tersebut dapat dijadikan referensi karena kemiripan permasalahan yang ada dan sistem operasional yang sama pada sistem penambangan terbuka dengan jenis dan tipe alat yang hampir sama.

1.2 Perumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang di atas, maka rumusan masalah yang akan dibahas adalah sebagai berikut :

1. Bagaimana menentukan perencanaan kebutuhan *dump truck* yang optimal pada penambangan batubara di PT RML Jobiste KTD ?
2. Berapakah produksi optimal yang dihasilkan pada penambangan batubara di PT RML Jobiste KTD ?
3. Berapakah biaya produksi minimal yang ditentukan pada penambangan batubara di PT RML Jobiste KTD ?

1.3. Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian adalah untuk :

- a. Menentukan perencanaan kebutuhan *dump truck* yang optimal pada penambangan batubara di PT RML Jobiste KTD.
- b. Menentukan produksi yang optimal pada penambangan batubara di PT RML Jobiste KTD.
- c. Menentukan biaya produksi minimal pada penambangan batubara di PT RML Jobiste KTD.

1.4. Manfaat Penelitian

1.4.1. Kegunaan bagi perusahaan

- a) Memberikan pertimbangan dari aspek teknis bagi PT Riung Mitra Lestari untuk mengambil keputusan dalam melakukan perencanaan kebutuhan alat tambang utama di PT Riung Mitra Lestari yang berpengaruh pada produktivitas dan aspek ekonomis proyek.
- b) Dapat dijadikan sebagai suatu standar untuk operasional yang efektif dan memberikan keuntungan bagi perusahaan.

1.4.2. Kegunaan bagi Keilmuan Teknik Industri

Sebagai bahan referensi bagi para peneliti yang akan melakukan penelitian lebih lanjut di masa yang akan datang dengan memperkaya kasahan pengetahuan di

bidang optimasi melalui kombinasi metode *operation research* khususnya pada bidang pertambangan batubara.

1.5. Asumsi dan Pembatasan Masalah

Asumsi dan batasan masalah agar penelitian sesuai dengan tujuan yang diteliti sebagai berikut :

1. Penelitian dilakukan di area tambang batubara yaitu PT. RML di konsesi PT Kitadin.
2. Unit yang diteliti adalah unit utama produksi *overburden* yaitu Alat Gali Muat / *Excavator* (Komatsu PC 400-8) dan Alat Angkut / *Dump Truck* (Volvo FM 370).
3. Pengambilan data dilakukan pada periode Oktober-November 2015 dengan kondisi yang relatif sama dengan saat ini.
4. Kajian dilakukan pada proses produksi *overburden* (OB) atau lapisan tanah penutup.
5. Biaya produksi difokuskan pada biaya aktivitas pengangkutan (*hauling cost*) dan biaya aktivitas pemuatan (*loading cost*).
6. Perencanaan desain tambang menyesuaikan kondisi saat ini.

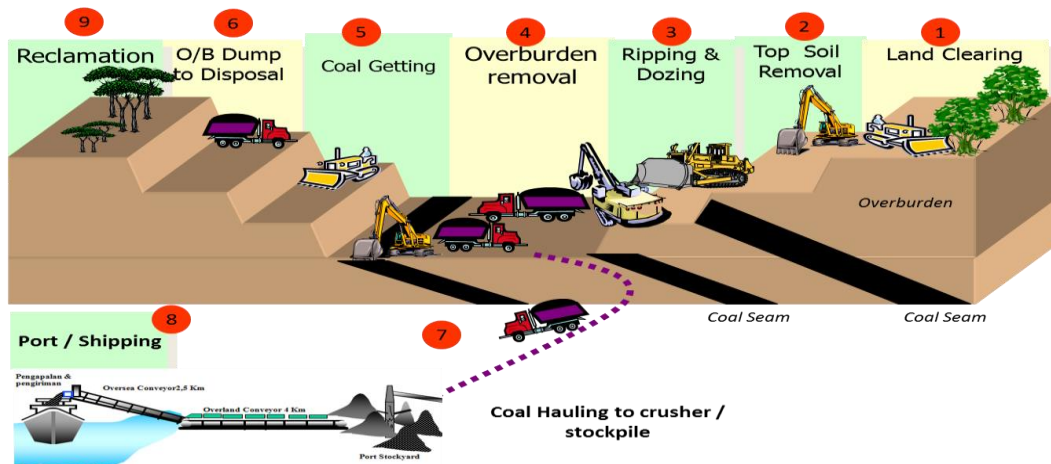
BAB II

KAJIAN PUSTAKA

2.1. Kajian Teori

2.1.1. Kegiatan Penambangan

Kegiatan penambangan yang diterapkan PT. RML site KTD adalah dengan sistem tambang terbuka dengan tipe penambangan yaitu *open pit*, biasanya tipe ini diterapkan untuk endapan batubara yang mempunyai lapisan tebal dan dilakukan dengan membuat jenjang (*bench*). Daerah penambangan dibagi menjadi beberapa bagian yang dinamakan blok, kemudian tiap-tiap blok dikerjakan secara bertahap menurut luas tertentu yang dinamakan *strip*, dimana arah pengerjaan sesuai dengan arah kemajuan tambang yang telah direncanakan. Kegiatan penambangan dilakukan selama 24 jam yang dibagi menjadi 2 *shift*. Kegiatan penambangan yang dilakukan seperti yang terlihat pada Gambar 2.1 dibawah ini.



Gambar 2.1 Kegiatan Penambangan.

Sumber : Engineering PT RML, 2015

Adapun tahap-tahap yang dilakukan dalam kegiatan penambangan,yaitu :

a. Pembersihan lahan (*land clearing*)

Pembersihan lahan dilakukan untuk membersihkan daerah tambang dari pepohonan. Alat yang biasanya digunakan adalah *bulldozer* Caterpillar D 10 R untuk mendorong pohon yang berdiameter < 25 cm khusus untuk pohon

yang memiliki diameter ≥ 25 cm maka akan dilakukan proses pemotongan pohon tersebut dengan menggunakan *chain saw*.

b. Pengupasan tanah pucuk (*Top Soil Removal*)

Pengupasan top soil biasanya dilakukan dengan menggunakan *excavator* atau yang disebut juga dengan *excavator* jenis *backhoe*, kemudian tanah tersebut ditempatkan pada *bank top soil* atau langsung disebar pada lokasi yang sudah siap untuk direklamasi. *Top soil* banyak mengandung unsur hara dan merupakan tanah yang dapat ditumbuhi oleh pepohonan.

c. Penggaruan dan perataan (*Ripping & Dozing*)

Pada awal kegiatan pengupasan *overburden* metode pembongkaran yang dilakukan masih dengan cara konvensional yaitu dengan metode *ripping* (penggaruan) menggunakan *bulldozer*.

d. Pengupasan lapisan penutup (*Overburden Removal*)

Overburden yang sudah dibersihkan selanjutnya digali dengan *excavator* atau yang disebut juga dengan *excavator* jenis *backhoe*.

e. Pengangkutan *overburden* ke tempat buang (*Overburden to Disposal*)

Material *overburden* yang sudah digali kemudian dituang ke dalam bak (*vessel*) *dump truck* (alat angkut) untuk selanjutnya diangkut ke tempat penyimpanan yang sudah ditentukan ke tempat tersebut biasanya disebut *disposal point*.

f. Penggalian batubara (*coal getting*)

Sebelum melakukan pengambilan batubara (*coal getting*), terlebih dahulu dilakukan kegiatan *coal cleaning*. Maksud dari kegiatan *coal cleaning* adalah untuk membersihkan pengotor yang berasal dari permukaan batubara berupa material sisa tanah penutup yang masih tertinggal sedikit. Selanjutnya dilakukan kegiatan *coal getting* dengan menggunakan alat gali muat. Apabila terdapat lapisan batubara yang keras, maka dilakukan penggaruan terlebih dahulu sebelum proses pemuatan ke *dump truck*nya. Penggalian batubara dilakukan dengan menggunakan alat gali muat / *excavator* tipe *backhoe*.

g. Pengangkutan batubara ke *Stock pile*

Batubara yang sudah digali selanjutnya dimuat dan diangkut menuju ke tempat penyimpanan batubara atau yang disebut *stock pile* atau di tempat

penghancuran batubara (*crusher*) dengan menggunakan *dump truck*. Batubara tersebut diolah untuk mereduksi ukuran batubara dengan alat *crusher*.

h. Pengangkutan batubara ke *Port* dan Pengapalan (*Shipping*)

Batubara yang berasal dari *stock pile* atau *crusher* maupun yang telah melewati proses pencucian akan diangkut menuju *port* dengan menggunakan *Dump Truck*. Setelah di *port*, batubara diangkut ke tongkang dengan menggunakan *conveyor* yang selanjutnya dilakukan pengapalan.

i. Reklamasi

Pada lokasi yang sudah tidak ditambang lagi akan dilakukan reklamasi yang dimulai dengan penimbunan material penutup dan selanjutnya dilakukan penanaman tanaman. Adapun jenis tanaman yang pertama ditanam adalah jenis legum yang berfungsi sebagai *cover crop*, jenis ini digunakan agar *top soil* banyak mengandung nitrogen sehingga dapat mendukung kesuburan tanah.

2.1.2. Peralatan Pertambangan

Penggalian serta pemuatan material yang digunakan oleh *excavator* dan pengangkutan material oleh *dump truck* merupakan suatu hal yang sangat mempengaruhi operasi penambangan. Untung rugi suatu perusahaan tambang terletak juga pada lancar tidaknya penggalian, pemuatan dan pengangkutan yang tersedia. Penggunaan *dump truck* baik dari segi kapasitas maupun jumlahnya harus disesuaikan dengan *excavator* yang digunakan pada setiap lokasi tambang.

2.1.2.1. Alat Gali Muat (*Excavator*)

Untuk penggalian dan pemuatan material ke atas alat angkut (*dump truck*) dibutuhkan alat gali muat yang harus disesuaikan dengan keadaan lapangan kerja yang sangat bermacam-macam yang sering disebut sebagai *excavator*. Ada beberapa jenis *excavator* yang biasa digunakan pada lokasi penambangan, antara lain ada *Power Shovel* dan *Backhoe*. *Power shovel* merupakan *excavator* dengan kedudukan sejajar dengan material yang akan diambil. Sedangkan *backhoe* merupakan *excavator* untuk menggali material dengan kedudukan material berada di bawah alat. Keuntungan *backhoe* ini jika dibandingkan dengan tipe *shovel* ialah karena *backhoe* dapat menggali sambil mengatur dalamnya galian yang lebih

baik. Karena kekakuan konstruksinya, *backhoe* ini lebih menguntungkan untuk penggalian dengan jarak dekat dan memuatkan hasil galian (Aykul, 2007).

2.1.2.2. Alat Angkut (*Dump Truck*)

Alat angkut ada bermacam-macam antara lain *truck*, *belt conveyor*, *power scrapper* dan lain-lain. Dan pada umumnya *dump truck* yang sering digunakan di tambang adalah alat angkut dengan jenis *dump truck*. *Truck* merupakan alat yang khusus digunakan sebagai *dump truck* karena kemampuannya yang dapat bergerak cepat, kapasitas besar dan biaya operasinya yang relatif murah. Alasan lain penggunaan *truck* sebagai *dump truck* adalah karena kebutuhan *truck* mudah diatur dengan produksi alat-alat gali, sehingga *truck* sangat luwes dalam pengorganisasian dengan alat-alat lain.

Salah satu syarat yang perlu dipenuhi agar *truck* dapat digunakan dengan baik dan efektif adalah jalan angkut yang rata dan cukup kuat atau keras. Beberapa hal yang membedakan macam *truck* adalah :

- a. Ukuran dan bahan bakar yang digunakan
- b. Banyaknya gigi persneling (*gear*)
- c. Banyaknya roda gerak, misalnya dua, empat dan enam
- d. Susunan roda-roda dan banyaknya sumbu.
- e. Kemampuan angkut, dalam ton atau m³
- f. Cara membuang muatan (*dumping*), misalnya *rear dump*, *side dump* dan *bottom dump*.

Pada umumnya untuk pekerjaan tambang digunakan *truck* yang dapat membuang muatan dari bak secara otomatis. *Truck* semacam ini disebut dengan *dump truck* atau *tipping truck*. Penumpahan muatan (*dumping*) dilakukan dengan cara hidrolis yang menyebabkan bak terangkat pada satu sisi, sedang sisi lain yang berhadapan berputar sebagai engsel. Dengan membedakan arah muatan ditumpahkan *dump truck* dibedakan dalam tiga macam yaitu :

- a. *Rear dumptruck* yang membuang muatan ke belakang
- b. *Side dumptruck* yang membuang muatan ke samping
- c. *Bottom dumptruck* yang membuang muatan melalui bawah bak

Pemilihan tergantung dari tempat kerja, artinya tergantung dari keadaan dan letak tempat pembuangan material (*dump site*). *Dump truck* yang ada terdiri dari berbagai ukuran dengan kapasitas angkut yang bervariasi, yang pemilihannya dapat disesuaikan dengan kondisi pekerjaan. *Truck* yang digunakan sebagai *dump truck* tambang yang biasanya dapat mengangkut material berupa lapisan tanah penutup atau bahan galian yang ada di tambang (Aykul, 2007).

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

Menurut Jay Heizer & Barry Render (2009) definisi produksi yaitu proses penciptaan barang atau jasa yang mentransformasikan masukan (*input*) menjadi keluaran (*output*). 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. Berdasarkan *Handbook Komatsu* edisi 30 perhitungan produksi masing-masing alat dapat ditentukan sebagai berikut.

a. Alat Gali Muat (*excavator*)

1) Produksi per siklus

$$q = q_1 \times K \quad \dots\dots\dots (1)$$

dimana :

q = Produksi per siklus (m^3 atau BCM/*Bank Cubic Meter*)

q_1 = Kapasitas Munjung (dari spek alat) (m^3 atau BCM/*Bank Cubic Meter*)

K = Faktor Pengisian *bucket*

2) Produksi per Jam

$$Q = \frac{q \times 3600 \times e}{CT \text{ (detik)}} \quad \text{atau} \quad Q = \frac{q \times 60 \times e}{CT \text{ (menit)}} \quad \dots\dots\dots (2)$$

dimana :

Q = Produktivitas per jam (m^3 /jam atau BCM/jam)

q = Produktivitas per siklus (m^3)

CT = Waktu siklus (detik)

3600 = Konversi jam \rightarrow detik

E = Efisiensi kerja (%)

b. Alat Angkut (*dump truck*)

1) Produksi per siklus

$$q = q_1 \times K \dots\dots\dots (3)$$

dimana :

q = Produksi per siklus (m³)

q₁ = Kapasitas bak truk/*vessel* (m³ atau BCM/*Bank Cubic Meter*)

K = Faktor Pengisian *bucket excavator*

2) Produksi per jam

$$Q = \frac{q \times 3600 \times e}{CT \text{ (detik)}} \quad \text{atau} \quad Q = \frac{q \times 60 \times e}{CT \text{ (menit)}} \dots\dots\dots (4)$$

dimana :

Q = Produktivitas per jam (m³/jam atau BCM/jam)

q = Produktivitas per siklus (m³ atau BCM)

CT = Waktu siklus (detik atau menit)

3600 = Konversi jam → detik ; 60 = konversi menit → jam

E = Efisiensi kerja

Apabila diketahui target produksi per jam, maka jumlah alat yang diperlukan adalah:

$$n = \frac{T_p}{Q} \dots\dots\dots (5)$$

dimana :

n = Jumlah *dump truck*

T_p = Target produksi (BCM/Jam)

Q = Produksi *dump truck* (BJM/Jam)

Dalam perhitungan produksi tersebut ada faktor yang sangat berpengaruh yaitu efisiensi kerja. Efisiensi kerja tersebut tergantung pada beberapa faktor seperti kemampuan operator, topografi, kondisi dari mesin, cuaca, metode kerja, dan pemeliharaan alat. Efisiensi kerja sangat sulit untuk diperkirakan, karena banyaknya faktor yang terlibat. Oleh karena itu nilai efisiensi kerja dapat diberikan sesuai dengan Tabel 2.1 sebagai panduan secara umum.

Tabel 2.1 Faktor Efisiensi Kerja

<i>Operating Conditions</i>	<i>Job Efficiency</i>
<i>Good</i>	0.83
<i>Average</i>	0.75
<i>Rather poor</i>	0.67
<i>Poor</i>	0.58

Sumber : Komatsu, 2009

2.1.4. 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 (Choudary, 2015) , yaitu :

a. *Cycle Time Excavator*

Terdiri dari menggali, mengayun bermuatan, menumpah, mengayun dengan muatan kosong.

$$CT = DgT + SLT + Dpt + SET \dots\dots\dots (6)$$

dimana :

CT = Waktu siklus atau *cycle time* (detik)

Dgt = waktu penggalian atau *digging time* (detik)

SLT = Waktu ayun bermuatan atau *swing load time* (detik)

Dpt = Waktu penumpahan material atau *passing time* (detik)

SET = Waktu ayun kosong atau *swing empty time* (detik)

b. *Cycle Time Dump Truck*

Terdiri dari waktu diisi hingga penuh oleh *excavator*, mengangkat dengan bak penuh, mengambil posisi untuk penumpahan, menumpahkan material, kembali ke *front* dengan muatan kosong dan mengambil posisi untuk diisi kembali.

$$CT = LT + HLT + SDT + DT + RT + WT + SLT \dots\dots\dots (7)$$

dimana :

CT = Waktu siklus atau *cycle time* (detik)

LT = Waktu pemuatan material atau *load time* (detik)

HLT = Waktu pergi bermuatan atau *hauling load time* (detik)

SDT = Waktu manuver sebelum menumpah atau *spotting dump time* (detik)

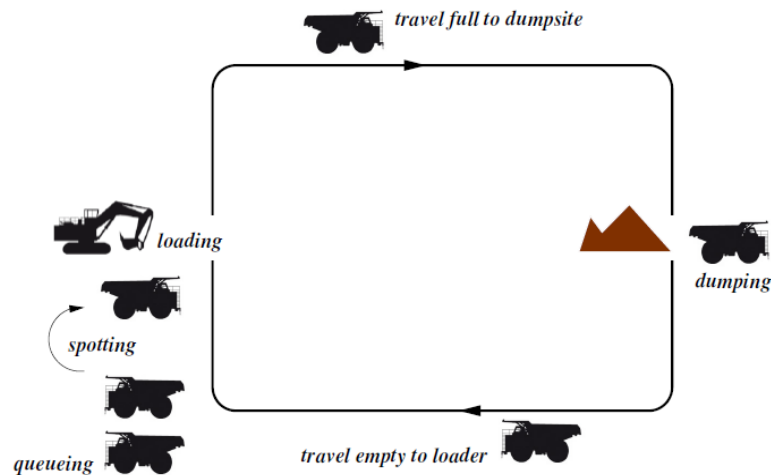
DT = Waktu menumpahkan material atau *dumping time* (detik)

RT = Waktu kembali tanpa muatan atau *returning time* (detik)

QT = Waktu antri sebelum pemuatan atau *queueing time* (detik)

SLT = Waktu manuver sebelum dimuati atau *spotting load time* (detik)

Ilustrasi waktu siklus *dump truck* dapat dilihat pada gambar di bawah ini.



Gambar

2.2 Waktu siklus *dump truck*

Sumber : Cacceta & Burt, 2013

Dalam satu waktu siklus yang dilakukan oleh alat mekanis ada beberapa hal yang harus diketahui (Cacceta & Burt, 2013) :

a. Waktu muat atau *loading time* (LT)

Merupakan waktu yang dibutuhkan oleh suatu alat untuk memuat material ke dalam *dump truck* sesuai dengan kapasitas *dump truck* tersebut. Nilai LT dapat ditentukan walaupun tergantung dari : jenis tanah, ukuran unit pengangkut, metode dalam pemuatan, efisiensi alat.

b. Waktu angkut atau *hauling time*

Merupakan waktu yang diperlukan oleh suatu *dump truck* untuk bergerak dari tempat pemuatan menuju tempat pembongkaran. Waktu angkut tergantung dari jarak angkut, kondisi jalan, tenaga alat, dan lain-lain. Pada saat alat kembali ke tempat pemuatan maka waktu yang diperlukan untuk kembali ke tempat

pemuatan disebut waktu kembali atau *return time* (RT), waktu kembali lebih singkat dari pada waktu berangkat karena kendaraan dalam keadaan kosong.

c. Waktu pembongkaran atau *dumping time* (DT)

Merupakan unsur penting dalam waktu siklus, waktu ini tergantung dari jenis tanah, jenis alat, dan metode yang dipakai. Waktu pembongkaran merupakan bagian terkecil dalam waktu siklus.

d. Waktu manuver atau *spotting time*

Pada saat alat kembali ke tempat pemuatan ada kalanya alat tersebut perlu antri dan memutar sampai alat diisi kembali.

2.1.5. 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) adalah

- a. Biaya Pemuatan (*Loading Cost*)
- b. Biaya Pengangkutan (*Hauling Cost*)
- c. Biaya Penggaruan (*Ripping Cost*)
- d. Biaya Pemberaian (*Spreading Cos*)
- e. Biaya Perbaikan Jalan (*Road Maintenance Cost*)
- f. Biaya Pemompaan dan Penerangan (*Dewatering & Lighting Cost*)
- g. Biaya Pendukung (*General Support Cost*)

Biaya-biaya tersebut terdiri dari beberapa komponen penyusunnya, yang bisa dibagi menjadi biaya kepemilikan (*owning cost*) dan biaya operasional (*operational cost*). Biaya kepemilikan bisa terdiri dari biaya pembelian alat yang dikonversikan ke dalam biaya depresiasi alat ke dalam satuan nominal per jamnya. Sedangkan biaya operasional terdiri dari biaya yang langsung berdampak ke operasional seperti biaya bahan bakar, biaya komponen, biaya perbaikan, biaya *operator*, dan biaya *overhead*. Salah satu contoh untuk biaya pengangkutan (*hauling cost*), komponen biaya kepemilikan terdiri dari biaya depresiasi alat unit dump truck per jamnya, dan biaya operasional terdiri dari biaya bahan bakar, biaya komponen (ban, mesin, elektrik, dll.), biaya perbaikan, biaya operator *dump truck* dan biaya overhead (makan, mess, transportasi, dll).

Dalam perhitungannya biaya aktivitas tersebut dapat dijadikan ukuran kinerja perusahaan dan pekerja dalam melaksanakan operasionalnya. Dalam pertambangan batubara, biaya aktivitas dapat diselaraskan dengan produksi yang dicapai, sehingga biaya aktivitas memiliki satuan USD per produksi yang dihasilkan.

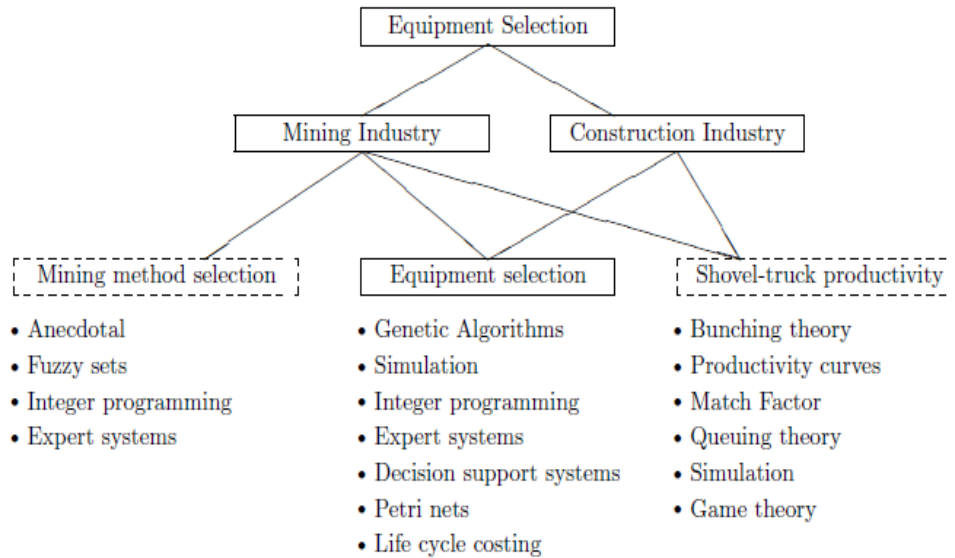
2.1.6. Teori Optimasi Produksi

Menurut Poerwadarminta (1997), pengertian optimalisasi atau optimasi adalah hasil yang dicapai sesuai dengan keinginan yang merupakan pencapaian hasil sesuai harapan secara efektif dan efisien. Optimasi merupakan pendekatan normatif dengan mengidentifikasi penyelesaian terbaik dari suatu permasalahan yang diarahkan pada titik maksimum atau minimum suatu fungsi tujuan. Optimasi produksi diperlukan perusahaan dalam rangka mengoptimalkan sumberdaya yang digunakan agar suatu produksi dapat menghasilkan produk dalam kuantitas dan kualitas yang diharapkan, sehingga perusahaan dapat mencapai tujuannya. Optimasi produksi adalah penggunaan faktor-faktor produksi yang terbatas seefisien mungkin. Faktor-faktor produksi tersebut adalah modal, mesin, peralatan, bahan baku, bahan pembantu dan tenaga kerja.

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). Ercelebi dan Bascetin (2009) menjelaskan dua metode yang dapat digunakan untuk optimasi produksi tersebut adalah dengan metode antrian dan *linear programming*.

Beberapa metode optimasi untuk menentukan jumlah alat dan meningkatkan produktivitas dapat ditunjukkan pada gambar 2.8 di bawah ini.



Gambar 2.3. Diagram metode optimasi dalam pemilihan unit

Sumber : Burt, 2008

2.1.7. Faktor Keserasian Alat (*Match Factor*)

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

$$MF = \frac{Na \times Ctm}{Nm \times Cta} \dots\dots\dots (8)$$

dimana :

Na = Jumlah *dump truck*

Nm = Jumlah *excavator*

Cta = *cycle time dump truck*

Ctm = *cycle time excavator*

Bila hasil dari perhitungan didapatkan :

- a. $MF < 1$, maka *excavator* akan sering menganggur.
- b. $MF = 1$, maka *excavator* dan *dump truck* tidak ada yang menganggur.
- c. $MF > 1$, maka *dump truck* akan sering menganggur.

Untuk mengetahui jumlah *dump truck* yang diperlukan untuk melayani satu unit *excavator* dapat menggunakan rumus faktor keserasian di atas, dengan beberapa asumsi yang harus dilakukan, yaitu :

- a. Jumlah alat-gali muat = 1
- b. Nilai $MF = 1$

Sehingga rumus di atas dapat disederhanakan menjadi :

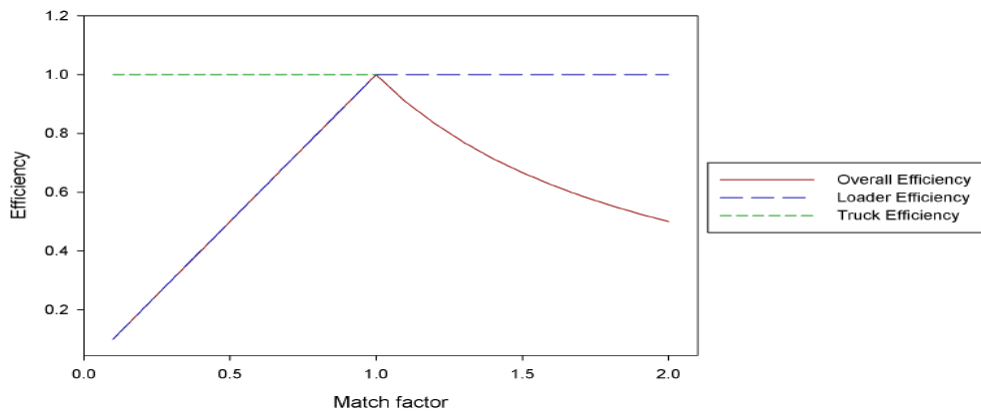
$$Na = \frac{Cta}{Ctm} \dots\dots\dots (9)$$

Dimana : Na = Jumlah *dump truck*

Cta = cycle time *dump truck*

Ctm = cycle time *excavator*

Besarnya *match factor* tersebut dapat menunjukkan efisiensi *excavator* dan *dump truck* seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.1 di bawah ini.



Gambar 2.4 Kombinasi *Match Factor* untuk Efisiensi *Dump truck* dan *Excavator*.
 Sumber : Burt, 2008

2.1.8. Teori Antrian

2.1.8.1. Pengertian Teori Antrian

Teori tentang antrian ditemukan dan dikembangkan oleh A.K. Erlang, seorang insinyur dari Denmark yang bekerja pada perusahaan telepon di Kopenhagen pada

tahun 1910. Persoalan aslinya Erlang hanya memperlakukan perhitungan keterlambatan (*delay*) dari seorang *operator*, kemudian pada tahun 1917 penelitian dilanjutkan untuk menghitung kesibukan beberapa *operator*. Dalam periode ini Erlang menerbitkan bukunya yang terkenal berjudul *Solution of some problems in the theory of probabilities of significance in Automatic Telephone Exchange*. Baru setelah perang dunia kedua, hasil penelitian Erlang diperluas penggunaannya antara lain dalam teori antrian (Heizer & Render, 2009).

Teori Antrian adalah teori yang menyangkut studi matematis dari antrian-antrian atau baris-baris penungguan. Formasi baris-baris penungguan ini tentu saja merupakan suatu fenomena biasa yang terjadi apabila kebutuhan akan suatu pelayanan melebihi kapasitas yang tersedia untuk menyelenggarakan pelayanan itu. Keputusan-keputusan yang berkenaan dengan jumlah kapasitas ini harus dapat ditentukan, walaupun sebenarnya tidak dapat dibuat prediksi yang tepat mengenai kapan unit-unit yang membutuhkan pelayanan itu akan datang atau berapa lama waktu yang diperlukan untuk menyelenggarakan pelayanan itu. Teori antrian sendiri tidak langsung memecahkan persoalan ini. Walaupun begitu, teori ini menyumbangkan informasi penting yang diperlukan untuk membuat keputusan seperti itu dengan cara memprediksi beberapa karakteristik dari baris penungguan, seperti misalnya waktu tunggu rata-rata (Heizer & Render, 2009).

Peristiwa terjadinya antrian *dump truck* tambang pada lokasi loading memang dapat sering kali terjadi hal tersebut dapat disebabkan karena beberapa faktor baik itu dari *excavator* yang digunakan, *dump truck* yang digunakan atau dari operator yang menjalani *excavator* serta *dump truck* itu sendiri. Terjadinya antrian akan timbul apabila bila tingkat permintaan untuk memperoleh suatu pelayanan melebihi kapasitas pelayanan yang ada. Sehingga tingkat kedatangan *dump truck* untuk dilayani dan tingkat pelayanan fasilitas *excavator* yang akan melayani merupakan dua unsur pokok yang akan menentukan apakah masalah garis antrian atau tunggu didalam sistem akan timbul atau tidak (Burt, 2008).

2.1.8.2. Komponen Utama Sistem Antrian

Ada enam komponen utama yang digunakan untuk menggambarkan suatu sistem antrian (Gross & Harris, 1998 dalam May, 2012), yaitu :

1) Populasi masukan

Populasi masukan ini bisa tidak terbatas dan bisa pula terbatas ukurannya. Populasi bisa tidak terbatas ketika jumlahnya sangat besar, namun bisa pula terbatas ketika jumlahnya sangat sedikit, hal itu berarti setiap pelanggan yang datang akan mempengaruhi kedatangan pelanggan yang lain. Kedatangan pelanggan biasanya dicirikan oleh adanya waktu siklus antar kedatangan (*interarrival time*), yakni waktu antar kedatangan dari pelanggan secara berturut-turut pada suatu fasilitas pelayanan. Tingkat kedatangan itu dapat diketahui secara pasti (*deterministic*), atau berupa suatu variabel acak yang distribusi probabilitasnya telah diketahui. Sebagai pelanggan yang masuk kedalam sistem akan membentuk sebuah garis tunggu dan antrian dengan tingkat kedatangan, atau *arrival rate* tertentu atau random.

2) Distribusi kedatangan

Menggambarkan jumlah kedatangan per unit waktu dan dalam periode waktu tertentu berturut-turut dalam waktu yang berbeda.

3) Disiplin pelayanan

Dump truck yang mana yang akan dilayani lebih dulu :

a) FCFS (*first come, first served*)

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

c) LCFS (*Last Come, First Served*)

d) Aturan pelayanan yang berdasarkan pada pelanggan yang terakhir masuk pertama keluar.

4) SIRO (*Service In Random Order*)

Urutan pelayanan dalam urutan acak

5) PS (*Priority Service*)

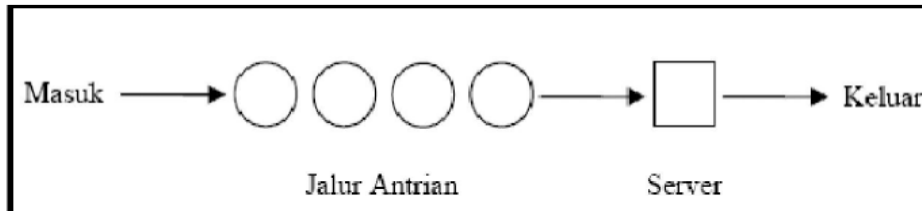
Aturan pelayanan berdasarkan prioritas.

6) Fasilitas Pelayanan

Mengelompokkan fasilitas pelayanan menurut jumlah yang tersedia.

a) *Single channel single phase* (satu antrian satu pelayanan).

Yaitu struktur antrian yang terdiri pelayanan tunggal dengan satu jalur antrian. Hal ini dijelaskan pada gambar berikut ini:

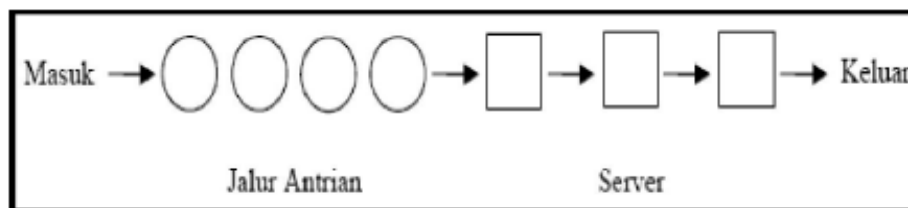


Gambar 2.5. *Single channel single phase*

Sumber : May, 2012

b) *Single channel multiple phase* (satu antrian beberapa pelayanan seri).

Yaitu struktur antrian yang terdiri dari beberapa pelayanan yang tersusun secara seri dengan satu jalur antrian.

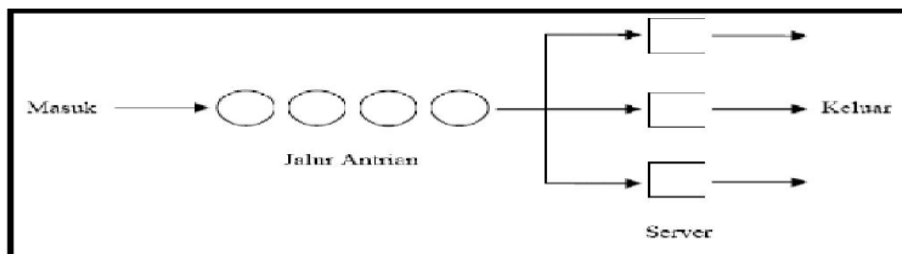


Gambar 2.6. *Single channel multiple phase*

Sumber : May, 2012

c) *Multiple channel single phase* (satu antrian beberapa pelayanan).

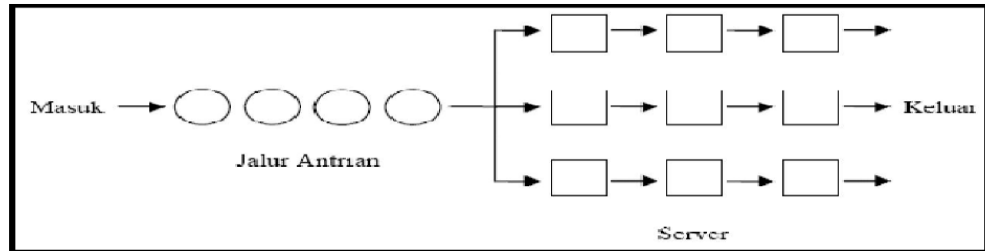
Yaitu struktur antrian yang terdiri dari beberapa pelayanan yang tersusun secara paralel dengan satu jalur antrian.



Gambar 2.7 *Multiple channel single phase*

Sumber : May, 2012

- d) *Multiple channel multiple phase* (satu antrian beberapa pelayanan seri).
Yaitu struktur antrian yang terdiri dari beberapa pelayanan seri yang tersusun secara paralel dengan satu jalur antrian.



Gambar 2.8 *Multiple channel multiple phase*.

Sumber : May, 2012

7) Distribusi Pelayanan

- a) Berapa banyak *dump truck* yang dapat dilayani per satuan waktu
- b) Berapa lama setiap *dump truck* dapat dilayani

8) Kapasitas sistem pelayanan

Memaksimalkan jumlah *dump truck* yang diperkenankan masuk dalam sistem.

Dalam proses penambangan, teori antrian dapat digunakan untuk menentukan jumlah truk dan biaya operasi yang paling ekonomis. Dalam sebuah proyek aplikasi pemindahan tanah mekanis, penentuan jumlah truk merupakan sejumlah truk yang menghasilkan biaya paling rendah untuk setiap volume material yang dipindahkan. Jika tingkat produksi dari sebuah alat muat, waktu pemuatan, dan waktu siklus pengangkutan merupakan sesuatu yang konstan, maka hal tersebut merupakan sesuatu yang cukup mudah dalam menentukan jumlah truk yang paling ekonomis (May, 2012).

Kondisi di lapangan hal ini terjadi karena waktu siklus suatu truk tidak konstan dari satu waktu ke waktu lain walaupun kondisi jalan dan jumlah truk yang digunakan dalam satu armada tidak berubah. Pada suatu saat, akan terjadi kondisi dimana truk akan menunggu untuk dilayani oleh *excavator* tetapi untuk alasan tertentu akan timbul kondisi dimana *excavator* akan menunggu untuk melayani truk. Jika sejumlah truk ditambahkan untuk armada yang sedang berjalan untuk mengurangi waktu *excavator* yang hilang maka hal itu akan meningkatkan

produksi alat muat tetapi kemungkinan hal itu tidak akan bisa mengimbangi biaya yang diperlukan untuk mengoperasikan truk secara keseluruhan (May, 2012).

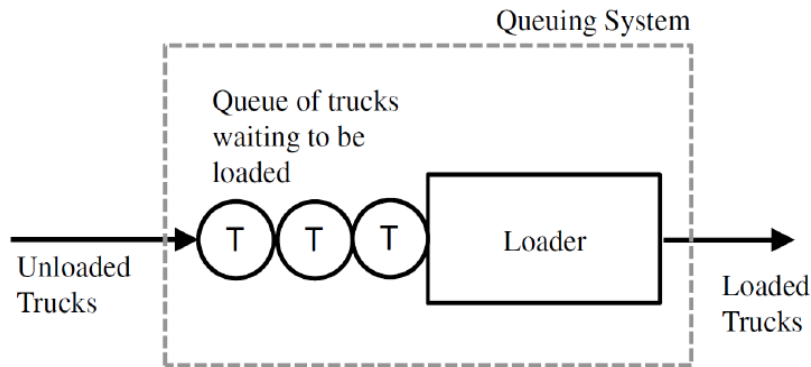
Jenis dan jumlah truk yang digunakan akan mempengaruhi sistem pemuatan dan pengangkutan secara keseluruhan dan hal ini sering dijumpai di lapangan. Penggunaan alat muat dan *dump truck* yang berbeda jenis dan kelasnya menimbulkan beberapa permasalahan di antaranya (May, 2012) :

1. Operasi pengangkutan terganggu karena kelas truk berbeda
2. Terjadi waktu tunggu truk di lokasi pemuatan atau alat muat menunggu karena tidak ada truk di tempat.
3. Waktu tunggu yang terjadi menurunkan efisiensi kerja dan menurunkan produktivitas sistem.
4. Kelas truk dan kapasitas alat muat yang berbeda menyebabkan *excavator* memuat truk yang berbeda kelas dengan jumlah pemuatan yang berbeda.
5. Alternatif kombinasi *excavator* dan *dump truck* dengan produksi yang optimal dan biaya yang minimal.

Laju kedatangan truk di lokasi pemuatan yang random disebabkan oleh beberapa faktor yang sulit ditentukan secara kuantitatif antara lain kecepatan truk yang tidak tetap, jarak angkut yang relatif berubah, percepatan dan perlambatan selama di perjalanan, faktor operator dan faktor lingkungan kerja. Waktu pelayanan alat muat ditentukan oleh jumlah pemuatan *bucket excavator* dan waktu siklus alat muat. Laju pelayanan alat muat untuk memuat sebuah truk terjadi secara random disebabkan oleh jumlah pemuatan *bucket* yang tidak tetap, alat muat melakukan spotting ketika truk siap dimuat atau sebaliknya alat muat siap untuk memuat ketika truk melakukan manuver dan gangguan faktor operator dan lingkungan kerja (May, 2012).

Teori antrian dapat digunakan dalam menganalisis secara statistik biaya *dump truck* dan *excavator* yang diperlukan untuk sejumlah *dump truck* sehingga jumlah *dump truck* 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 *dump truck* in akan mengangkut muatan ke lokasi tujuan, menumpahkannya, dan kembali ke tempat pemuatan untuk pemuatan selanjutnya (May, 2012). Contoh model antrian dalam pelayanan *dump truck* dapat digambarkan sebagai berikut :



Gambar 2.9 Sistem Antrian *Dump Truck* dan *Loader Excavator*

Sumber : May, 2012

2.1.8.3. Probabilitas Tidak Ada Alat Angkut Dalam Antrian

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

$$P_0 (Na, x) = \frac{e^{-x} x^{Na}}{Na!} = \frac{p (Na, x)}{P (Na, x)} \dots\dots\dots (10)$$

Dimana :

$P_0 (Na, x)$ = Probabilitas tidak ada truk dalam antrian

e = konstanta logaritma natural = 2.71828

Na = Jumlah truk dalam armada

x = Jumlah truk yang dibutuhkan dalam satu armada, $x = m/r$

$$p = \frac{e^{-x} x^{Na}}{Na!}$$

P = kumulatif Distribusi Poisson, merupakan nilai kumulatif Distribusi Poisson yang diperoleh dari tabel

r = Rata-rata tingkat kedatangan truk per jam, $r = 1/Ta$

m = Rata-rata tingkat pelayanan per jam, $m = 1/T_s$

T_a = Waktu siklus truk, tidak termasuk waktu *loading* (jam), $1/r$

T_s = Waktu untuk memuat sebuah truk (jam), $1/m$

2.1.8.4. Waktu Tunggu

Dalam kegiatan penambangan terbuka, *dump truck* bergerak dari *loading point* ke lokasi *dumping* dan kembali. Kadang-kadang mereka berhenti untuk istirahat sejenak di *waste dump* atau secara teratur ke *fuel station* dan ke *park up* untuk *shift change*. Pada kondisi lain mereka 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 :

$$W = [TL + STD + DT + TE] - (N-1)[STL+LT] \dots\dots\dots (11)$$

Keterangan :

W = waktu tunggu

N = jumlah truk yang dibutuhkan

TL = waktu perjalanan bermuatan

TE = waktu perjalanan kosong

STD = waktu pengaturan posisi di lokasi pembuangan material

DT = waktu pembuangan material

STL = waktu pengaturan posisi di lokasi pemuatan

LT = waktu pemuatan material

2.1.9. Teori *Linear programming*

2.1.9.1. Pengantar *Linear programming*

Menurut Heizer dan Render (2006), *Linear Programming* atau Program linear adalah teknik matematika yang banyak digunakan dan dirancang untuk membantu manajer operasi merencanakan dan membuat keputusan yang diperlukan untuk mengalokasikan sumber daya. Sedangkan menurut Assauri (2008), *Linear Programming* adalah metode-metode bersifat matematis, yang dapat dipergunakan untuk membantu dalam pemecahan masalah yang rumit dan kompleks, seperti tentang *schedulling* dan pengalokasian faktor-faktor produksi yang terdapat dalam sistem produksi, serta masalah-masalah produksi dan operasi lainnya.

Karakteristik-karakteristik yang biasa digunakan dalam persoalan *Linear Programming* sebagai berikut (Heizer & Render, 2006) :

1. Persoalan *Linear Programming* bertujuan untuk memaksimalkan atau meminimalkan kuantitas (pada umumnya berupa laba atau biaya). Karakteristik ini disebut sebagai fungsi tujuan (*objective function*) dari suatu persoalan *Linear Programming*. Tujuan utama suatu perusahaan pada umumnya untuk memaksimalkan keuntungan jangka panjang.
2. Adanya batasan (*constraints*) atau kendala, yang membatasi tingkat sampai dimana sasaran dicapai. Untuk memaksimalkan atau meminimalkan suatu kuantitas (fungsi tujuan) bergantung kepada sumber daya yang jumlahnya terbatas (batasan).
3. Harus ada beberapa alternatif tindakan yang dapat diambil. Sebagai contoh, jika suatu perusahaan menghasilkan tiga produk yang berbeda, manajemen dapat menggunakan *Linear Programming* untuk memutuskan bagaimana cara mengalokasikan sumber dayanya yang terbatas (tenaga kerja, mesin, dll). Jika tidak ada alternatif yang dapat diambil maka *Linear Programming* tidak diperlukan.

4. Tujuan dan batasan dalam permasalahan *Linear Programming* harus dinyatakan dalam hubungan dengan pertidaksamaan atau persamaan linear.

2.1.9.2. Pembuatan Model

Untuk menyelesaikan suatu masalah dapat digunakan model *Linear programming*. Adapun langkah-langkah pemodelannya adalah sebagai berikut (Soekartawi, 1995):

1. Menentukan variabel-variabel dari persoalan, misalnya X1, X2 dan seterusnya.
2. Menentukan batasan-batasan yang harus dikenakan untuk memenuhi batasan sistem yang dimodelkan.

$$\sum_{j=1}^n A_{ij} X_j \{ \leq \text{atau} = \text{atau} \geq \} B_i, \quad X_j \geq 0, \quad i = 1, 2, 3, \dots, m \quad \dots \dots \dots (12)$$

Keterangan:

- m = macam batasan sumber atau fasilitas yang tersedia
- n = macam kegiatan yang menggunakan sumber atau fasilitas tersebut
- i = nomor setiap macam sumber atau fasilitas yang tersedia
- j = nomor setiap macam kegiatan yang menggunakan sumber atau fasilitas yang tersedia
- X_j = kegiatan ke-j (variabel keputusan)
- A_{i j} = banyaknya sumber i yang diperlukan untuk menghasilkan setiap unit keluaran kegiatan j

3. Menentukan tujuan (maksimasi atau minimasi) yang harus dicapai untuk menentukan pemecahan optimum dari semua nilai yang layak dari variabel tersebut.

$$Z = C_1 X_1 + C_2 X_2 + \dots + C_n X_n \quad \dots \dots \dots (13)$$

Keterangan:

- Z = nilai yang dioptimalkan
- C_n = sumbangan setiap satuan keluaran kegiatan n terhadap nilai Z
- X_n = kegiatan ke-n (variabel keputusan)

2.1.9.3. Program *POM for Windows* untuk Menyelesaikan *Linear Programming*

Program *POM for Windows* adalah sebuah program komputer yang digunakan untuk memecahkan masalah dalam bidang produksi dan operasi yang bersifat kuantitatif. Tampilan grafis yang menarik dan kemudahan pengoperasian menjadikan *POM for Windows* sebagai alternatif aplikasi guna membantu pengambilan keputusan seperti misalnya menentukan kombinasi produksi yang sesuai agar memperoleh keuntungan sebesar-besarnya. Menentukan order pembelian barang agar biaya perawatan menjadi seminimal mungkin, menentukan penugasan karyawan terhadap suatu pekerjaan agar dicapai hasil yang maksimal, dan lain sebagainya

Langkah-langkah menggunakan aplikasi *POM for Windows* sebagai berikut :

1. Siapkan formula masalahnya, semisal akan dipecahkan suatu masalah *linear programming* maka langkah kerjanya adalah:
 - a. Tentukan masalahnya apakah kasus maksimum atau minimum
 - b. Berapa jumlah variabel yang ada
 - c. Berapa jumlah batasan yang ada
2. Masukkan masalah tersebut ke dalam program
3. Lakukan pengecekan pada masalah bila terjadi kesalahan input
4. Lakukan perhitungan dan lihat hasilnya dengan klik *SOLVE*
5. Tampilkan hasil-hasil perhitungan dan simpan hasilnya

2.2. Ulasan Literatur Peneliti Terdahulu.

Hal ini seperti penelitian yang dilakukan oleh Peneliti Nel (2011) meneliti tentang optimalisasi jumlah *dump truck* dengan metode *match factor* dengan sistem algoritma *software Talpac*. Hasil penelitian dapat menurunkan kebutuhan *dump truck* dari 26 unit menjadi 25 unit, yang dapat mengurangi biaya sebesar 5.09 Milyar per tahun. Sedangkan Burt & Cacceta meneliti tentang rasio *match factor* yang dapat digunakan untuk menentukan jumlah *dump truck* yang optimal, dalam penelitiannya disebutkan bahwa *match factor* bernilai lebih dari satu mengakibatkan truk tidak efisien dan tidak produktif karena adanya waktu antri

bagi *dump truck* sebaliknya *match factor* kurang dari 1 membuat *excavator* lama menunggu *dump truck*, batasnya adalah *match factor* jika kurang dari 0.5 maka *excavator* benar-benar tidak efisien sehingga harus dilakukan perencanaan ulang.

Peneliti May (2012) menjelaskan penggunaan metode antrian untuk mengurangi waktu antrian *dump truck* untuk mengurangi biaya pengangkutan, yang hasilnya dapat mengurangi biaya sebesar 5.158, 54 USD per *shift*. Peneliti Sahoo (2012) meneliti alokasi dan jumlah truk juga dengan metode antrian yang menghasilkan jumlah dan alokasi truk yang optimal. Hasil penelitiannya adalah truk yang optimal berjumlah 6, dimana apabila ditambahkan lagi maka produktivitas truk akan menurun karena akan banyak waktu terbuang karena antri.

Ercelebl dan Bascetin (2009) yang menghasilkan produksi optimal dengan biaya minimal dengan pendekatan *linear programming* dan metode antrian. Dalam penelitian tersebut metode antrian digunakan untuk menghitung produksi optimal berdasarkan waktu tunggu dan waktu antrian truk. Setelah mendapatkan produksi yang optimal, maka dapat dihitung biaya minimal dengan metode *linear programming*. Hasil produksi optimal adalah 17.453 ton/menit dan biaya minimal sebesar 24.60 USD/ton dari semula 31.93 USD/ton.

Peneliti lain yang menggunakan teori *linear programming* adalah Newman, et al (2010) melakukan optimalisasi produksi dengan perencanaan produksi tambang yang optimal berdasarkan metode *linear programming* dengan program CPLEX. Hasil penelitian ini adalah mendapatkan jadwal produksi per blok tambang yang optimal dengan pendapatan yang maksimal. Sementara itu dengan metode yang sama, peneliti Morley et. al. (2012) melakukan penelitian dengan model simulasi *linear programming* yang bertujuan untuk menentukan kombinasi ideal antara *truck* dan *excavator* dengan beberapa tipe sehingga dapat menghasilkan biaya produksi yang minimal. Hasil penelitian tersebut adalah bahwa berdasarkan kapasitas produksi masing-masing unit maka dapat ditentukan kombinasi yang ideal antara unit alat angkut 793 berpasangan dengan unit alat muat 2500 dengan jarak optimal 5 km dengan biaya minimal 1.92 USD/BCM.

Beberapa penelitian tersebut dapat dijadikan referensi karena kemiripan permasalahan yang ada dan sistem operasional yang sama pada sistem penambangan terbuka dengan jenis dan tipe alat yang hampir sama. Secara lengkap beberapa literatur peneliti terdahulu dapat ditampilkan pada Tabel 2.2 Literatur Peneliti Terdahulu Yang Terkait dan Tabel 2.3. *State of The Arts* di bawah ini. Yang membedakan penelitian terdahulu dengan penelitian ini adalah optimasi produksi dengan variabel penelitian berupa produksi, alokasi dan jumlah *dump truck* dan biaya produksi dengan menggunakan kombinasi metode *match factor*, antrian dan *linear programming* dengan alat bantu software berupa *POM for Windows*.

Tabel 2.2. Peneliti Terdahulu

No.	Nama Peneliti	Metode	Tujuan	Hasil Penelitian
1	Adadzi (2013)	<i>Linear Programming</i> (LP)	Mengurangi biaya produksi	Mengurangi biaya produksi hingga 3.51 %
2	Ade & Deshpand (2012)	<i>Lean</i>	Meningkatkan produksi, mengurangi biaya produksi	Meningkatkan produksi batubara 12.960 ton, mengurangi penggunaan mata bor sebesar 25%, mengurangi konsumsi bahan bakar sebesar 25%, mengurangi biaya pekerja sebesar 230.712.961 Rupee
3	Alkass (2003)	Teori antrian	Biaya produksi minimal	Hasil biaya minimal di 185 USD
4	Amankwah (2011)	<i>Linear Programming</i> (LP)	Menghasilkan penjadwalan produksi optimal	Jadwal produksi yang optimal
5	Bascetin & Ercelebl (2009)	LP dan Teori Antrian	Menentukan produksi optimal berdasarkan waktu tunggu dan waktu antrian dan menentukan biaya minimal	Hasil produksi optimal di 17.453 ton/menit dengan biaya turun dari 31.93 USD/Ton menjadi 24.60 USD/Ton
6	Burt & Cacceta (2013)	<i>Match Factor</i>	jumlah truk optimal	menghasilkan jumlah truk optimal dengan nilai match factor 1
7	Cetin (2004)	Teori antrian	optimalisasi jumlah truk	Simulasi jumlah truk optimal 21 unit untuk 4 <i>excavator</i>
8	Chadha (2014)	OEE	Mengetahui <i>performance</i> operasional tambang dan menentukan proses yang tidak bernilai tambah	Tabel <i>performance</i> operasioanal tambang dapat memberikan data yang informatif dan akurat
9	Chinbat & Takakuwa (2008)	<i>Six Sigma</i>	<i>mengurangi proses yang tidak perlu dalam cycle time</i>	<i>Mengurangi cycle time menjadi 50%</i>
10	Choudhary (2015)	OEE, <i>Match Factor</i>	Menentukan jumlah truk dan peningkatan utilisasi dengan metode OEE dan <i>Match Factor</i>	Menurunkan biaya produksi dan truk yang optimal.
11	Coronado (2014)	Teori antrian dan LP	Optimalisasi truk dengan software Arena	Mengurangi <i>cycle time</i> dari 1.95 menit ke 0.94 menit, mengurangi waktu antrian sebesar 0.06 menit, maksimum truk 3 unit per <i>excavator</i> .

Tabel 2.2. Peneliti Terdahulu (Lanjutan)

No.	Nama Peneliti	Metode	Tujuan	Hasil Penelitian
12	Costa, et al (2012)	Linear Programming (LP)	Menghasilkan perencanaan produksi yang optimal untuk peningkatan pendapatan	menghasilkan perencanaan produksi optimal sesuai dengan target yang ditentukan dengan meningkatkan pendapatan 5.8 cent per ton
13	Doucette (2013)	Linear Programming (LP), Teori Antrian	Mengurangi waktu tunggu dengan metode LP dan antrian dengan program C Plex 11.1	dapat mengurangi waktu tunggu sebesar 3%
14	Franik & Franik (2011)	Linear Programming (LP)	Menghasilkan estimasi biaya produksi	Menghasilkan estimasi biaya produksi dengan pendekatan Program Linier
15	Fu (2013)	Algoritma Genetika	Menentukan kombinasi alat yang optimal dengan meningkatkan produktivitas dan meminimalkan biaya produksi dengan program <i>Cyclone</i>	Tabel kombinasi alat yang optimal dan biaya produksi turun.
16	Klippel, et al (2007)	Lean	Mengurangi biaya produksi	Mengurangi biaya produksi dari 5.23 USD menjadi 3.51 USD, meningkatkan produktivitas sebesar 43.6% , mengurangi waktu tunggu dari 50.87% menjadi 32.09 %
17	Kumar (2014)	Program Integer	Menghasilkan optimum produksi dan meningkatkan pendapatan	Menghasilkan optimum produksi dengan memaksimalkan profit berdasarkan pengaturan fleet dan kebutuhan unit.
18	Lashgari (2010)	Algoritma Genetika, Teori Antrian	Menentukan metode yang tepat untuk alokasi unit	Perbandingan Metode alokasi unit dalam penambangan terbuka dengan beberapa metode yaitu Algoritma Genetik, Teori Antrian
19	May (2012)	Teori Antrian	Mengurangi waktu antrian truk dan menurunkan biaya pengangkutan	mengurangi biaya sebesar 5.158, 54 USD per shift
20	Mishra (2013)	Lean	Mengetahui penyebab utama ketidaktercapaian produktivitas	Mengetahui penyebab utama ketidaktercapaian produktivitas berdasarkan aspek siklus operasi, efisiensi alat, dan pengaturan pekerja
21	Morley, et al (2012)	Linear Programming (LP)	Menurunkan biaya produksi dengan kombinasi alat yang tepat	Menghasilkan kombinasi ideal antara Truk dan <i>Excavator</i> sehingga menurunkan biaya produksi yaitu unit truk 793 berpasangann dengan unit <i>excavator</i> 2500 dengan jarak optimal 5 km dengan biaya minimal 1.92 USD/BCM

Tabel 2.2. Peneliti Terdahulu (Lanjutan)

No.	Nama Peneliti	Metode	Tujuan	Hasil Penelitian
22	Morley, et al (2013)	<i>Linear Programming (LP)</i>	Menentukan jumlah truk untuk meningkatkan produksi dan meminimalkan biaya proyek dengan Simulasi Monte Carlo	Menentukan jumlah truk dengan sehingga dapat meningkatkan produksi dan meminimalkan biaya proyek, dengan menurunkan jumlah truk hingga 28%
23	Nageshwaraniyer (2013)	<i>Linear Programming (LP)</i>	Meningkatkan pendapatan	Meingkatkan pendapatan dengan metode simulasi optimisasi robust dengan menggunakan software Arena dan OptQuest
24	Nel (2011)	<i>Match Factor, Algoritma Talpac</i>	Optimalisasi jumlah truk untuk menurunkan biaya produksi	menurunkan jumlah truk dari 26 unit menjadi 25 unit, dan dapat mengurangi biaya produksi sebesar 5.09 Milyar per tahun.
25	Newman, et al (2010)	<i>Linear Programming (LP)</i>	Mengoptimalkan produksi dengan perencanaan yang baik dengan program CPLEX	Adanya perencanaan tambang berdasarkan jadwal produksi, unit dan pengaturan fleet yang optimal
26	Palei (2013)	Metode Antrian	Mengoptimalkan produktivitas dengan metode antrian dengan softwar <i>Simulink of Matlab 7.0.1</i>	Hasil produksi optimum di 23.3 tons dengan jarak 330 m.
27	Ramazan, S & Dimitrakopoulos, R (2014)	Linear Programming (LP)	Menentukan NPV yang optimal pada produksi emas	Menentukan NPV yang optimal pada produksi emas dengan hasil optimal di 18.313.000 USD
28	Sahoo (2012)	Linear Programming (LP), Teori Antrian	Menentukan jumlah truk yang optimal	jumlah truk yang optimal untuk masing-masing <i>excavator</i> adalah 6 unit.
29	Savic & Jankovic (2006)	Linear Programming (LP)	Mengurangi biaya produksi	Mengurangi biaya produksi hingga 23%
30	Shawki, et al (2009)	Linear Programming (LP)	Menentukan jumlah truk optimal dengan <i>Matlab</i>	Jumlah truk optimal total 69 unit truk untuk 7 unit <i>excavator</i>
31	Tan (2012)	Linear Programming (LP)	<i>Mengurangi cycle time dengan program Visual Basic Application dan Excel</i>	Menurunkan <i>cycle time</i> dari 11. 502 menit menjadi 7.286 menit

Tabel 2.3. *State of The Arts*

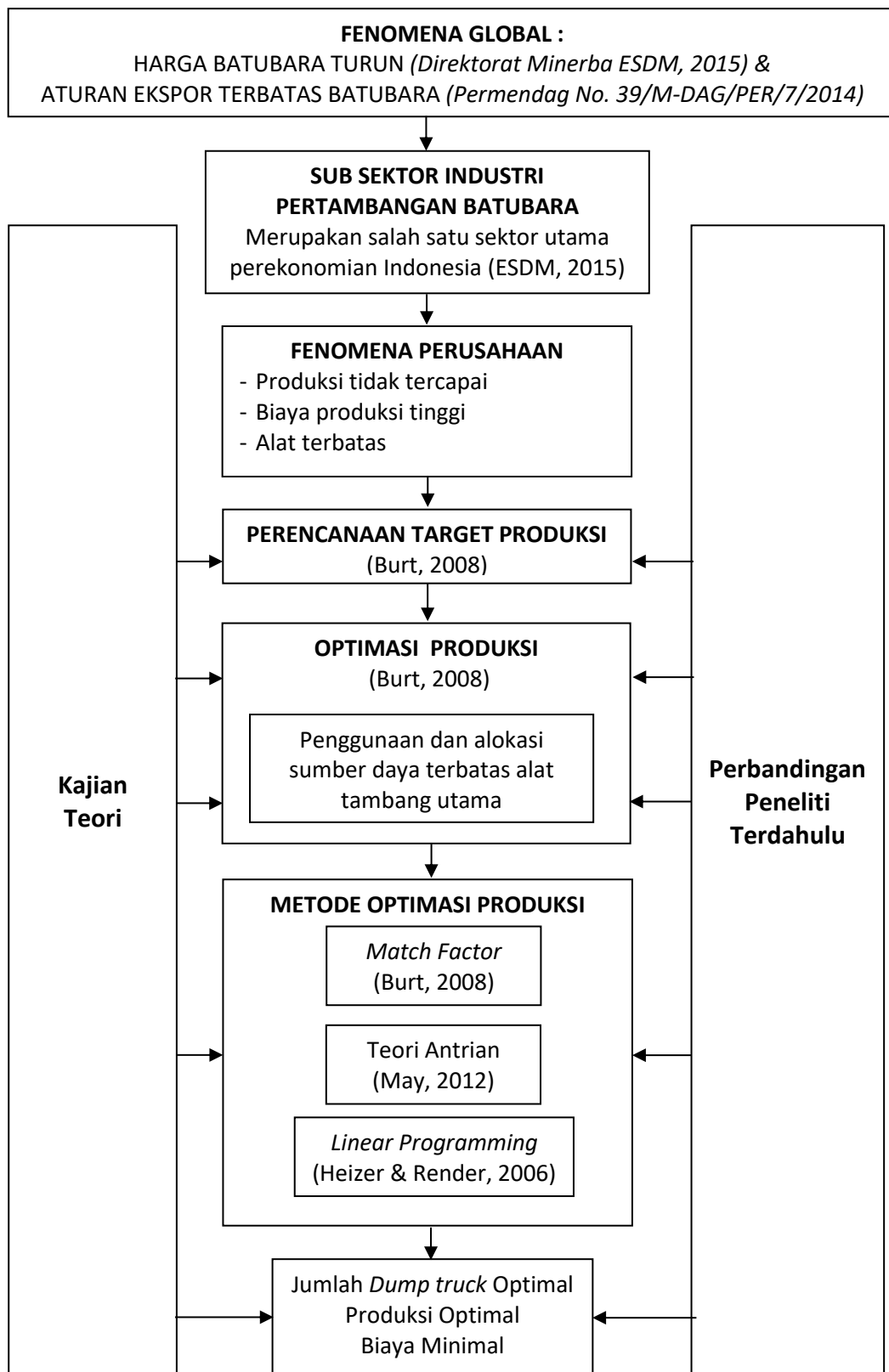
No.	Aspek	Variabel					Pendekatan Penelitian		
		Jumlah alat angkut	Produksi	Biaya Produksi	Waktu Tunggu	Utilisasi Alat	Pengukuran Kinerja	Kuantitatif	Kualitatif
1	Ade & Deshpand, 2012		v	v		v		v	v
2	Adadzi, 2013			v		v		v	
3	Alkass, 2003	v	v	v				v	
4	Amankwah, 2011		v					v	
5	Bascetin & Ercelebl, 2009		v	v	v			v	
6	Burt & Cacceta, 2013	v						v	
7	Cetin, 2004	v			v			v	
8	Chadha, 2014						v	v	
9	Chinbat & Takakuwa, 2008		v		v	v		v	
10	Choudhary, 2015	v		v		v		v	
11	Coronado. 2014	v		v	v			v	
12	Costa, et al, 2012	v	v					v	
13	Doucette, 2013	v						v	
14	Frank & Franik, 2011	v	v	v				v	
15	Fu, 2013	v	v	v				v	
16	Klippel, et al, 2007		v	v				v	v
17	Kumar, 2014	v	v	v				v	
18	Lashgari, 2010	v	v					v	
19	May, 2012	v			v			v	
20	Mishra, 2013		v			v		v	
21	Morley, 2012			v				v	
22	Morley, 2013			v		v		v	
23	Nageshwaraniyer, 2013	v	v					v	
24	NeI, 2011	v	v	v				v	
25	Newman, 2010	v	v	v				v	
26	Palei, 2013		v	v	v				
27	Ramazan & Dimitrakopoulos, 2014	v	v					v	
28	Sahoo, 2012	v	v					v	
29	Savic & Jankovic, 2006	v						v	
30	Shawki, et al, 2009		v		v			v	
31	Tan, 2012	v		v	v			v	
32	Penelitian Ini, 2016	v	v	v	v			v	

Tabel 2.3. *State of The Arts* (lanjutan)

No.	Aspek	Metode Analisis						Software / Tools						
		<i>Match Factor</i>	Teori Antrian	LP	<i>Lean</i>	<i>Six Sigma</i>	OEE	<i>Excel</i>	<i>Arena</i>	Lindo	Mini Tab	Mat Lab	POM QM	Tal pac
1	Ade & Deshpand, 2012				v									
2	Adadzi, 2013			v										
3	Alkass, 2003		v											
4	Amankwah, 2011			v										
5	Bascetin & Ercelebl, 2009		v	v										
6	Burt & Cacceta, 2013	v												
7	Cetin, 2004		v	v										
8	Chadha, 2014						v	v				v		
9	Chinbat & Takakuwa, 2008					v						v		
10	Choudhary, 2015	v					v							
11	Coronado, 2014		v	v						v				
12	Costa, et al, 2012			v										
13	Doucette, 2013		v											
14	Frank & Franik, 2011			v										
15	Fu, 2013			v										
16	Klippel, et al, 2007				v									
17	Kumar, 2014			v										
18	Lashgari, 2010		v											
19	May, 2012		v											
20	Mishra, 2013				v									
21	Morley, 2012	v		v									v	
22	Morley, 2013			v									v	
23	Nageshwaraniyer, 2013	v												
24	Nel, 2011	v		v										
25	Newman, 2010			v										
26	Palei, 2013		v										v	
27	Ramazan & Dimitrakopoulos, 2014			v										
28	Sahoo, 2012		v	v										v
29	Savic & Jankovic, 2006			v										
30	Shawki, et al, 2009			v									v	
31	Tan, 2012			v										
32	Penelitian Ini, 2016	v	v	v								v		v

2.3 Kerangka Pemikiran

Kerangka pemikiran dalam penelitian pada Gambar 2.10.



Gambar 2.10 Kerangka Pemikiran

BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

Tujuan dari penelitian ini adalah melakukan optimasi produksi pada penambangan batubara PT RML di lokasi konsesi PT KTD, Samarinda, Kalimantan Timur dalam upaya menentukan perencanaan kebutuhan *dump truck* yang optimal dengan produksi optimal dan biaya produksi minimal pada proses pengangkutan *overburden* kegiatan penambangan batubara.

3.1. Jenis dan Desain Penelitian

Penelitian ini tergolong jenis penelitian kuantitatif. Pendekatan dalam desain penelitian adalah pendekatan optimasi dengan bantuan metode *match factor*, teori antrian dan *linear programming*. Objek penelitian dilakukan pada aktivitas operasional tambang *overburden* yaitu *excavator* dan *dump truck*.

3.2. Data dan Informasi

3.2.1. Variabel Penelitian

Konsep penelitian ini adalah optimasi produksi untuk mengidentifikasi penyelesaian terbaik dari suatu permasalahan yang diarahkan pada titik maksimum atau minimum suatu fungsi tujuan dengan penggunaan faktor-faktor produksi yang terbatas seefisien mungkin. Suatu permasalahan tersebut dapat dijelaskan pada variabel penelitian sesuai dengan Tabel 3.1 di bawah ini.

3.2.2 Jenis dan Sumber Data

Dari variabel penelitian tersebut dapat ditentukan faktor yang mempengaruhinya yang disebut sebagai dimensi penelitian. Dimensi penelitian ini diambil berdasarkan indikator dengan jenis data berupa data primer atau sekunder. Data primer dan sekunder yang diambil pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

- a. Data Primer yang merupakan data hasil pengamatan langsung dengan sumber data dari pengukuran data di lapangan yang meliputi *cycle time excavator*, *cycle time dump truck*, jumlah *excavator*, dan jumlah *dump truck*.

- b. Data Sekunder yang merupakan data yang diolah dengan sumber data berupa laporan dan pencatatan operasional yang sudah ada yang meliputi laporan produksi (jam, harian dan bulanan), status kondisi *excavator* dan *dump truck*, status ketersediaan jumlah *excavator* dan *dump truck*, jumlah *passing*, kapasitas *bucket*, kapasitas *vessel* dan data biaya alat *excavator* dan *dump truck*.

Tabel 3.1 Variabel Penelitian

Variabel	Dimensi	Indikator	Jenis Data	Sumber Data	Teknik Pengumpulan Data
Produksi (Heizer & Render, 2009)	<i>cycle time excavator</i>	<i>digging time, swing loading time, passing time, swing empty time</i>	primer	pengukuran data	observasi
	<i>cycle time dump truck</i>	<i>loading time, hauling time, dumping time, returning time</i>	primer	pengukuran data	observasi
	Jumlah alat muat	status ketersediaan jumlah alat muat	sekunder	laporan	validasi
	Jumlah alat angkut	status ketersediaan jumlah alat muat	sekunder	laporan	validasi
Alokasi & Jumlah Dump Truck (Burt, 2008)	produktivitas alat angkut dan alat muat	jumlah <i>passing</i> , kap <i>bucket, vessel, cycle time</i>	sekunder	laporan	validasi
	Kondisi alat angkut dan alat muat	status kondisi <i>excavator</i> dan <i>dump truck</i>	sekunder	laporan	validasi
	Jumlah alat muat	status ketersediaan jumlah <i>excavator</i>	sekunder	laporan	validasi
	Jumlah alat angkut	status ketersediaan jumlah <i>dump truck</i>	sekunder	laporan	validasi
Biaya Produksi (Mohutsiwa & Musingwini, 2015)	produktivitas alat angkut dan alat muat	jumlah <i>passing</i> , kap <i>bucket, vessel, cycle time</i>	sekunder	laporan	validasi
	Biaya alat muat dan alat angkut	data biaya masing-masing <i>excavator</i> dan <i>dump truck</i>	sekunder	laporan	validasi

Sumber : Burt, 2008; Mohutsiwa & Musingwini, 2015.

3.3. Teknik Pengumpulan Data

Pengumpulan data terlebih dahulu dengan melakukan survei pendahuluan yaitu tahapan dalam pengenalan area yang akan dievaluasi. Selanjutnya, melakukan studi literatur terkait dengan perencanaan tambang. Analisis kesesuaian peralatan

(*matching factor*) dan analisis *productivity excavator* dan *dump truck*. Pengumpulan data dilakukan dengan cara :

a. Validasi Dokumen

Validasi dokumen terdiri dari laporan produksi (jam, harian, mingguan dan bulanan) termasuk di dalamnya data jumlah produksi, produktivitas, kondisi alat, jumlah *existing* unit, perencanaan produksi per bulan, foto operasional dan video operasional.

b. Observasi atau Pengamatan

Observasi atau pengamatan dilakukan langsung di lapangan dengan melakukan pencatatan terhadap semua proses yang berkaitan dengan perencanaan tambang dan apabila diperlukan dapat diambil foto atau video secara langsung. Pada observasi tersebut diambil data berupa waktu siklus atau waktu kerja, dimana teknik pengukuran waktu kerja dapat dilakukan secara langsung di tempat dimana pekerjaan yang diukur tersebut dijalankan, hal ini disebut sebagai *stopwatch time study* dan *work sampling* (Wignjosoebroto, 2008 dalam Noor, 2011).

3.4 Populasi dan Sampel

3.4.1 Populasi

Populasi adalah wilayah generalisasi yang terdiri atas objek atau subjek yang mempunyai kuantitas dan karakteristik tertentu (Sugiyono, 2013). Jumlah populasi *excavator* PC 400 berjumlah 6 unit, *dump truck* Volvo FM 440 berjumlah 32 unit.

3.4.2 Sampel

Sampel adalah bagian dari jumlah dan kareakteristik yang dimiliki oleh populasi tersebut (Sugiyono, 2013). Sampel *excavator* berjumlah 5 unit dari total 6 unit dimana 1 unit sedang rusak, sedangkan *dump truck* Volvo FM 370 berjumlah 27 unit karena saat observasi dilakukan 5 unit lainnya dalam kondisi rusak sedang perbaikan. Data waktu siklus diambil semua alat muat sejumlah 5 unit, dan untuk *dump truck* diambil masing-masing semua unit untuk tiap alat muat bersamaan dengan pengukuran waktu siklus *excavator*.

3.5 Instrumen Penelitian

Instrumen penelitian yang digunakan adalah form *cycle time excavator* dan *dump truck*, jumlah *excavator*, jumlah *dump truck*, kapasitas *bucket*, dan kapasitas *vessel*.

Alat ukur yang digunakan adalah *stopwatch* dengan satuan detik

3.6 Teknik Analisis Data

Dalam penelitian kuantitatif, analisis data merupakan kegiatan setelah data dari seluruh sumber data terkumpul. Kegiatan dalam analisis data adalah mengelompokkan data berdasarkan variabel, tabulasi data, menyajikan data dan melakukan perhitungan untuk mengetahui hasil akhir. Data waktu siklus yang telah diambil dan dikumpulkan, dapat dilakukan pengolahan data untuk menguji kecukupan data, keseragaman data dan normalitas data. (Wignjosoebroto, 2008, dalam Noor, 2011). Setelah dilakukan pengujian data tersebut maka langkah selanjutnya adalah menampilkan data secara statistik deskriptif. Menurut Sugiyono (2012) statistik deskriptif adalah statistik yang digunakan untuk menganalisa data dengan cara mendeskripsikan atau menggambarkan data yang telah terkumpul sebagaimana adanya tanpa bermaksud membuat kesimpulan yang berlaku untuk umum atau generalisasi.

Data yang dikumpulkan adalah :

- a. Gambaran umum wilayah penelitian.
- b. Lokasi pengamatan dan kesampaian daerah.
- c. Peralatan tambang utama.
- d. Target produksi.
- e. Target biaya produksi
- f. Faktor pengisian *Bucket* dan *Vessel*.
- g. Faktor efisiensi kerja
- h. Jalur pengangkutan material
- i. Status unit *excavator* dan *dump truck*.

- j. Waktu tunggu aktual Excavator dan waktu antrian aktual *dump truck*.
- k. Produksi aktual *excavator* dan *dump truck*.
- l. Perhitungan *Cycle Time* dan Waktu Tunggu *Excavator* dan *Dump Truck*.

Setelah data selesai dikumpulkan dengan lengkap baik itu data primer dan sekunder, tahap berikutnya adalah tahap pengujian data. Pada tahap pengujian data dilakukan uji kesesuaian data (distribusi Poisson), uji kecukupan data, uji normalitas data, uji keseragaman data. Pengujian data tersebut dilakukan dengan bantuan software Minitab 16 dan *IBM SPSS Statistics 20*.

Setelah pengujian data selesai dan dinyatakan layak maka tahap selanjutnya adalah pengolahan data dan analisis data. Pengolahan data dan analisis data pada penelitian ini dilakukan dengan langkah-langkah sebagai berikut:

1. Menentukan jumlah *dump truck* yang optimal.
 - a) Hitungan jumlah *dump truck* dengan metode *Match Factor*.

Dalam perhitungan digunakan persamaan (9), selanjutnya dibuat tabel dan grafik kebutuhan *dump truck* masing-masing *excavator*.
 - b) Hitungan jumlah *dump truck* dengan metode Antrian.
 - Menentukan model antrian. Dianalisa bahwa barisan antrian termasuk ukuran kedatangan secara tidak terbatas dan karena hanya dilayani oleh 1 buah *excavator* maka termasuk populasi tidak terbatas dengan pelayanan tunggal dengan disiplin pelayanan pertama datang pertama dilayani (FCFS = *first come first service*).
 - Menghitung optimasi jumlah *dump truck* dengan menggunakan teori antrian dengan persamaan teori antrian populasi tidak terbatas dengan pelayanan tunggal, sesuai persamaan (10). Selanjutnya dibuat tabel dan grafik jumlah *dump truck* dan nilai probabilitas untuk masing-masing *excavator*. Sedangkan dalam perhitungan waktu tunggu excavator dapat digunakan persamaan (11), yang selanjutnya dibuatkan tabel waktu tunggu pada masing-masing *excavator* yang akhirnya dapat ditentukan jumlah *dump truck* yang optimal.
 - c) Hitungan jumlah *dump truck* dengan metode *Linear Programming*.

Langkah-langkah pengolahan data dapat dilakukan dengan tahapan menentukan variabel menentukan batasan (sesuai persamaan 12), dan menentukan tujuan (sesuai persamaan 13). Selanjutnya dapat diolah dalam program *software POM for Windows*. Hasil pengolahan data tersebut dibuatkan tabel *output solutionnya* dan jumlah *dump truck* yang optimal.

2. Menentukan jumlah produksi yang optimal.

a) Hitungan 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 (5) dan (6) yang selanjutnya dituangkan dalam tabel produksi untuk masing-masing *excavator*.

b) Hitungan jumlah produksi optimal dengan metode Antrian.

Berdasarkan jumlah *dump truck* yang optimal dengan metode antrian maka dapat dihitung jumlah produksi yang dihasilkan. Produksi ideal dapat dihitung dengan perhitungan dari produktivitas *dump truck* dikalikan dengan jumlah unit.

c) Hitungan jumlah produksi optimal dengan metode *Linear Programming*.

Berdasarkan jumlah *dump truck* yang optimal dengan metode *Linear Programming* maka dapat dihitung jumlah produksi yang dihasilkan. Produksi ideal dapat dihitung 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.

3.7 Tahapan Penelitian

Tahapan penelitian merupakan rangkaian proses penelitian yang saling berkaitan dan sistematis. Penelitian dilakukan untuk melakukan perencanaan penambangan batubara dengan pendekatan optimalisasi kesesuaian peralatan. Penelitian

dilakukan pada perusahaan kontraktor tambang batubara yaitu PT RML. Secara garis besar penelitian dilakukan dengan beberapa tahapan sebagai berikut :

1. Survei pendahuluan

Kegiatan yang dilakukan adalah dengan melakukan survei ke lokasi penelitian yaitu di PT RML di Jobsite KTD, daerah Embalut, Kalimantan Timur. Penelitian dilakukan pada area khusus tambang batubara pada proses pengangkutan *overburden*.

2. Studi literatur

Studi literatur dilakukan dengan cara mempelajari semua data yang sudah tercatat dalam perencanaan dan pelaksanaan operasional penambangan seperti volume produksi, produktivitas, fleet matching, jumlah alat berat, kondisi jalan tambang dan referensi-referensi yang sesuai dengan penelitian ini.

3. Identifikasi masalah

Permasalahan yang muncul adalah tidak tercapainya target produksi *overburden* dan operasional yang belum optimal sehingga perlu dilakukan simulasi operasional tambang yang optimal untuk memperoleh target yang akan dicapai.

4. Metode yang digunakan

Desain penelitian yang dilakukan adalah eksploratif dan deskriptif. Penelitian eksploratif merupakan jenis penelitian yang bertujuan untuk menemukan suatu pengetahuan baru yang sebelumnya belum ada, sedangkan penelitian deskriptif merupakan penelitian yang memberikan gambaran yang lebih lengkap mengenai fenomena yang ada. Metode penelitian yang digunakan dengan pendekatan kuantitatif.

5. Kebutuhan data dan informasi

Kebutuhan data dan informasi diperlukan dalam melakukan penelitian. Data yang diperlukan yaitu :

- a. Produktivitas *excavator* dan *dump truck*
- b. Status dan ketersediaan unit
- c. Jenis *excavator* dan *dump truck*
- d. *Cycle time excavator* dan *dump truck*
- e. Kapasitas *bucket* dan *vessel*

f. Biaya Alat dan Efisiensi Kerja

6. Pengumpulan data

Pengumpulan data dilakukan dengan 3 cara yaitu pengumpulan dokumen, wawancara dan observasi atau pengamatan.

7. Pengujian data

Pengujian data yang dilakukan meliputi pengujian kecukupan data, kesesuaian data, normalitas data dan keseragaman data.

8. Pengolahan data

Pengolahan data dilakukan dengan bantuan *software microsoft excel* dan *POM for Windows*. Data yang diolah adalah perhitungan *cycle time excavator* dan *dump truck*, kapasitas *vessel* dan *bucket*, produksi *excavator* dan *dump truck*, jumlah *dump truck* dan *excavator* aktual, dan biaya alat.

9. Data dan Hasil

Dalam penelitian kuantitatif, data dan hasil merupakan kegiatan setelah data dari seluruh sumber data terkumpul. Kegiatan dalam analisis data adalah mengelompokkan data berdasarkan variabel, tabulasi data, menyajikan data dan melakukan perhitungan untuk mengetahui hasil akhir secara statistik deskriptif. Contoh statistik deskriptif adalah dengan grafik, tabel, diagram, rata-rata dan prosentase.

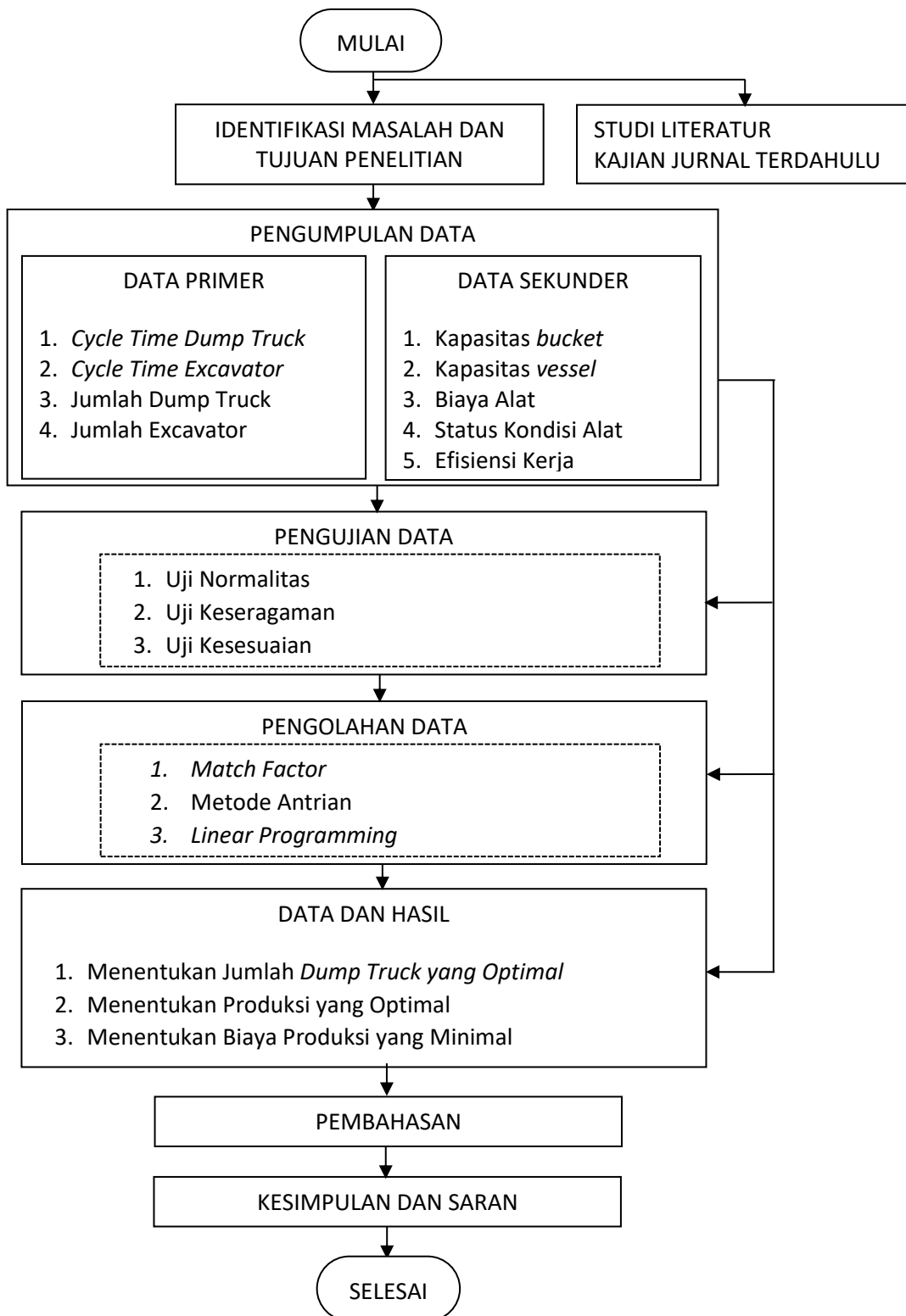
10. Pembahasan

Dalam pembahasan, diulas hasil dan analisis data yang ada, kemudian dilakukan perbandingan antara data dengan metode *match factor*, antrian dan *linear programming*. Tentukan mana metode yang terbaik untuk menentukan jumlah *dump truck* optimal sesuai dengan produksi optimal dan biaya yang minimum. Tentukan berapa produksi optimal dan biaya minimum tersebut.

11. Kesimpulan dan Saran

Kesimpulan yang diperoleh merupakan jawaban atas pertanyaan yang diajukan pada perumusan masalah yaitu melakukan perencanaan penambangan yang optimal dengan optimasi produksi berdasarkan alokasi dan jumlah alat angkut, produksi optimal dan biaya produksi yang minimal. Saran yang diberikan bersifat konstruktif untuk penelitian selanjutnya.

Tahapan penelitian tersebut di atas dapat dirangkum dalam bagan alir pada Gambar 3.1.



Gambar 3.1. Tahapan Penelitian

(Sumber : Pengolahan data, 2016)

BAB IV

HASIL DAN ANALISIS

4.1 Hasil

4.1.1. Gambaran Umum Wilayah Penelitian

PT. Riung Mitra Lestari (PT RML) adalah perusahaan kontraktor pertambangan yang didirikan pada tanggal 15 Maret 2006. Perusahaan ini berdiri untuk melengkapi pelaku tambang di Indonesia terutama dalam bidang pertambangan batubara. Dengan adanya desentralisasi pemerintah dalam bidang pertambangan, maka banyak diterbitkan Kuasa Pertambangan (KP) dalam skala menengah dan kecil, maka PT. RML hadir sebagai kontraktor pertambangan untuk mengisi kekosongan penambang skala menengah dengan teknik dan pola penambangan yang benar, efisien, dan *optimum recovery* serta peduli terhadap keselamatan kerja dan lingkungan hidup.

Visi PT. RML sebagai perusahaan kontraktor pertambangan adalah menjadi Kontraktor Pertambangan yang Efisien dan Handal. Sedangkan Misi yang hendak diraih oleh PT. RML adalah :

1. Memberikan pelayanan yang terbaik bagi *costumer* dalam bidang jasa pertambangan.
2. Mengembangkan sumber daya manusia untuk mencapai kesejahteraan yang lebih baik.
3. Meningkatkan kompetensi perusahaan sehingga mencapai efisiensi yang optimum dengan teknologi yang mutakhir.
4. Memberikan kontribusi bagi pengembangan dan kualitas hidup masyarakat dan bangsa indonesia.

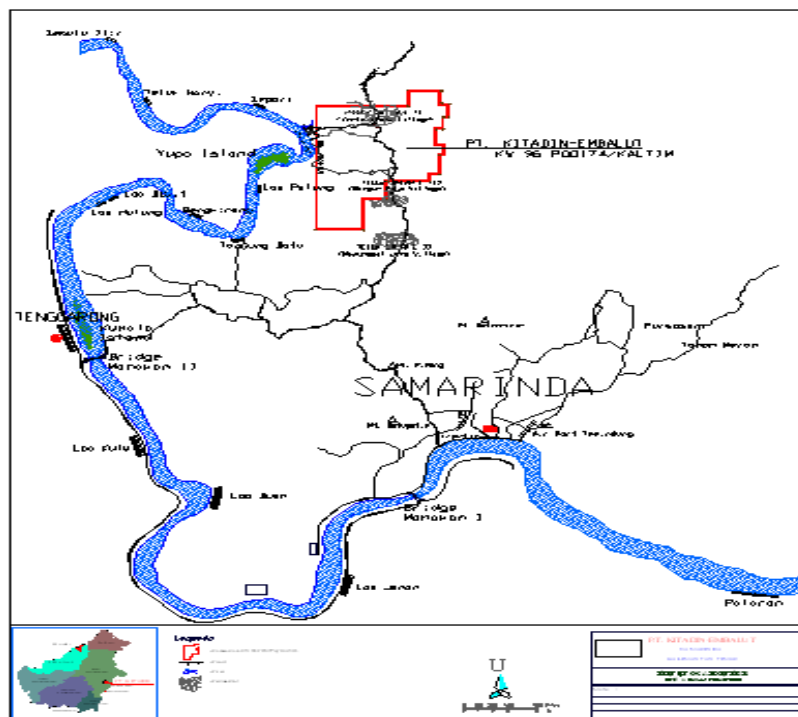
Salah satu lokasi kerja PT RML di PT. Kitadin (KTD) yang berlokasi di Desa Embalut, Kecamatan Tenggarong Seberang, Kabupaten Kutai Kertanegara, Kalimantan Timur. PT. KTD sebagai pemilik kuasa wilayah pertambangan 96P/00174/Kaltim dengan luas 2.973,6 Ha dengan kapasitas produksi 1.000.000 ton batubara pertahun. PT KTD telah memiliki dokumen AMDAL yang telah

disetujui oleh Komisi Penilai AMDAL Kabupaten Kutai Kartanegara dengan nomor persetujuan No. 180.188/HK-365/2003 tanggal 16 Juni 2003 .

Proses penambangan yang dilakukan di area tersebut dimulai dari proses pembukaan lahan yang dilanjutkan dengan pemindahan tanah pucuk, penggaruan, pengupasan/penggalian tanah penutup (*overburden*), pengangkutan lapisan tanah penutup (*overburden*) ke disposal, penggalian batubara dan pengangkutan batubara ke *stockpile* dan ke *port*.

4.1.2. Lokasi Pengamatan Dan Kesampaian Daerah

PT. RML Site PT KTD secara administratif tepatnya terletak di Desa Embalut, Kecamatan Tenggarong Seberang, Kabupaten Kutai Kertanegara, Kalimantan Timur. Secara geografis memiliki batas wilayah pada 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. Lokasi penelitian dapat ditempuh menggunakan jalan darat dari Balikpapan ke arah Samarinda $\pm 2,5$ jam.



Gambar 4.1. Peta Lokasi Daerah Penelitian

Sumber : Departemen Engineering PT RML, 2015

4.1.3. 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).

Tabel 4.1. Jenis Alat dan Jumlah Unit yang Digunakan

Jenis Alat	Tipe Unit	Jumlah Unit	Status
Excavator	PC 400 Komatsu	5	<i>Ready</i>
	PC 400 Komatsu	1	<i>Breakdown</i>
Dump Truck	FM 370 Volvo	27	<i>Ready</i>
	FM 370 Volvo	5	<i>Breakdown</i>

Sumber : Pengolahan Data, 2016

Kapasitas isi *bucket* PC 400 sebesar 2.0 BCM sedangkan kapasitas isi *vessel* (bak truk) sebesar 10.80 BCM (*Bank Cubic Metre*). Biaya alat *excavator* sebesar 60.8 USD per jam, sedangkan biaya alat *dump truck* sebesar 30.5 USD per jam.

4.1.4. Target Produksi

Target produktivitas unit PC 400 Komatsu di PT. RML Site KTD, sebesar 240 BCM per jam. Sedangkan untuk target produksi total per jam adalah 1200 BCM.

4.1.5. Target Biaya Produksi

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.

4.1.6. Faktor Pengisian *Bucket* dan *Vessel*

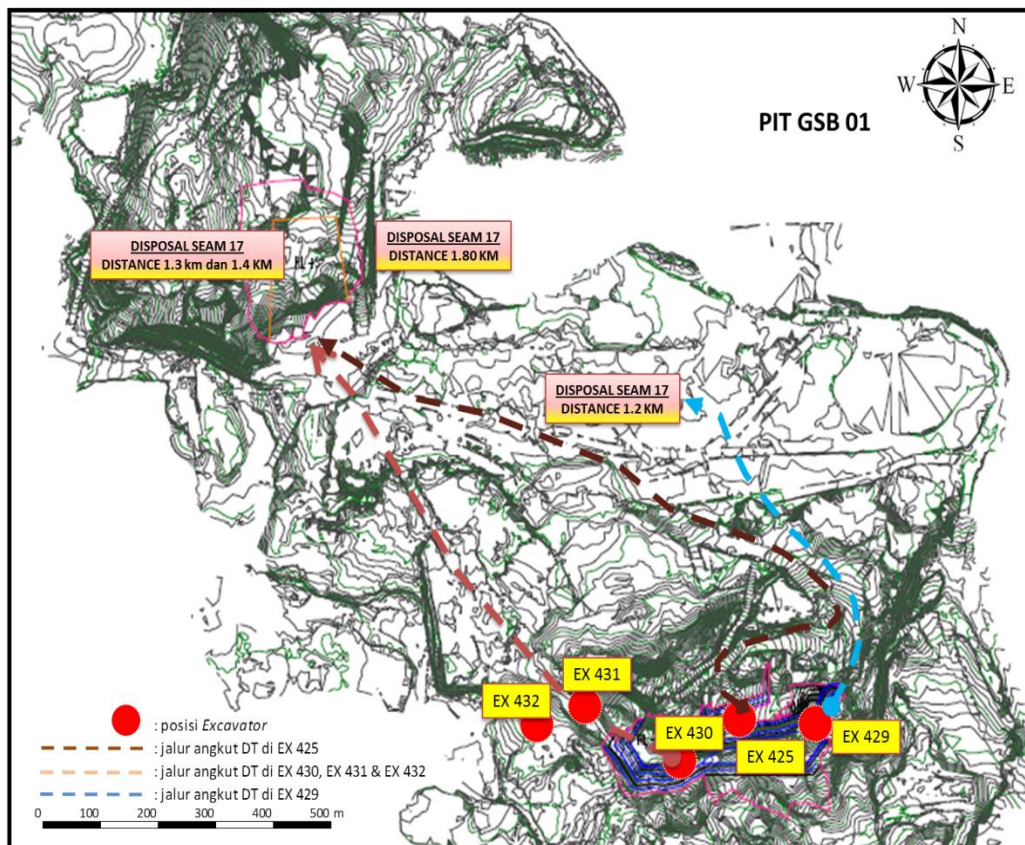
Berdasarkan data yang diperoleh dari Engineering PT RML, faktor pengisian *bucket* PC 400 Komatsu adalah 90 %. Sedangkan faktor pengisian *vessel* oleh *excavator* adalah 100%.

4.1.7. Faktor Efisiensi Kerja (*Job Efficiency*)

Berdasarkan data yang diperoleh dari Engineering PT RML, faktor efisiensi kerja *excavator* dan *dump truck* adalah 0.75.

4.1.8. Jalur Pengangkutan Material

Pengangkutan material dari setiap titik asal ke lokasi pembuangan pada dasarnya melewati jalur pengangkutan yang telah ditetapkan. Lebar jalan sangat diperhatikan dalam operasional yaitu sebesar 25 - 30 meter sesuai dengan standar keamanan jalan tambang. Lokasi pemilihan jalur pengangkutan material juga harus memperhatikan kemiringan jalan dan kondisi permukaan jalan tersebut. Perawatan jalan yang baik dapat berdampak pada kelancaran proses pengangkutan material oleh *dump truck*. Peta lokasi jalur pengangkutan material dapat dilihat pada Gambar 4.2 di bawah ini.



Gambar 4.2. Peta Jalur Lintasan *Dump Truck* tiap *Excavator*

Sumber : Departemen Engineering PT RML, 2015

4.1.9. Perhitungan *Cycle Time* dan Waktu Tunggu *Excavator* Dan *Dump Truck*.

a. Perhitungan *Cycle Time Excavator*

Cycle time untuk *excavator* didapatkan dari hasil pengamatan yang secara langsung di lapangan. Data *cycle time* tersebut dikumpulkan yang kemudian dilakukan validasi data terlebih dahulu sesuai dengan teori *time motion study*, dimana untuk *cycle time* dapat dilakukan pengujian meliputi kecukupan data, keseragaman data dan normalitas data. (Wignjosoebroto, 2008, dalam Noor, 2011). Pengujian data tersebut dilakukan dengan program *excel* dan *software Minitab 16*. Hasil masing-masing pengujian dapat dilihat pada Lampiran E. Dari hasil pengujian menunjukkan data yang cukup, data seragam dan data yang normal. Salah satu contoh data *cycle time excavator* pada tabel 4.2a. dan tabel 4.2b. di bawah ini. Sedangkan untuk hasil pengujian data dengan *Minitab 16* dapat dilihat pada Gambar 4.3a. dan 4.3b. (secara lengkap untuk semua *cycle time dump truck* pada masing-masing *excavator* dapat dilihat pada Lampiran C).

Tabel 4.2a. *Cycle Time Excavator* dan Pengujian Data pada EX 425

Tempat Pengamatan : PIT GSB 01, Job Site KTD
Tanggal Pengamatan : 09 November 2015
Jam Pengamatan : 08.00 WITA
No. Unit Excavator : EX 425

DATA UNIT EXCAVATOR

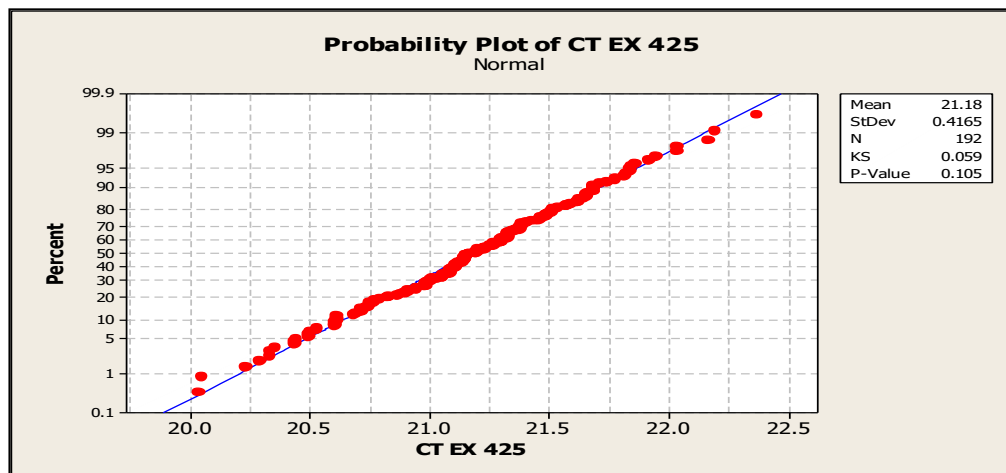
Jenis *Excavator* : KOMATSU PC 400-8
 Kapasitas *Excavator* : 2.0 BCM
 Jumlah Pengisian : 6 BUCKET
 Jumlah Alat : 1
 Efisiensi Unit : 75 %

DATA DUMP TRUCK

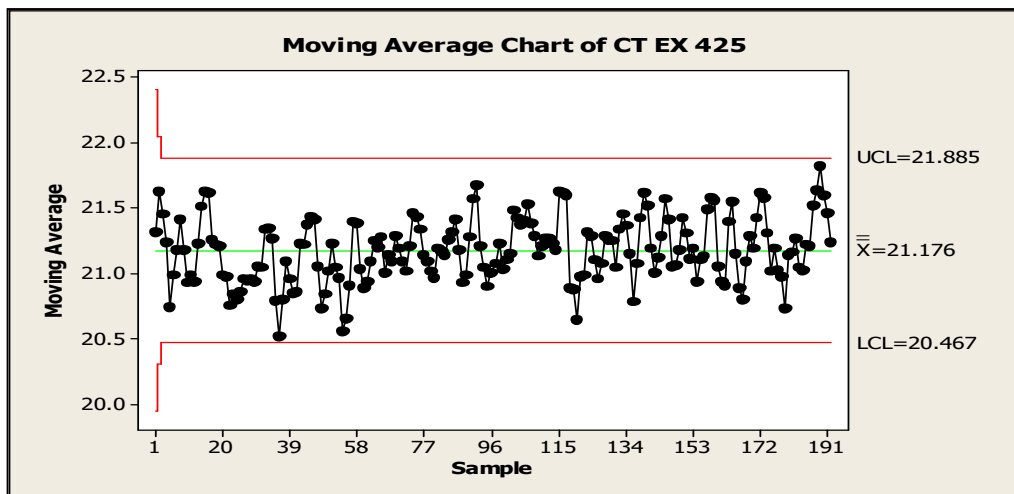
Jenis *Dump Truck* : DT VOLVO FM 370
 Kapasitas *Dump Truck* : 10.80 BCM
 Jumlah *Dump Truck* : 6
 Jarak *Front* ke *Disposal*:1800 m
 Efisiensi Unit : 75 %

No	<i>Digging (detik)</i>	<i>Swing Load (detik)</i>	<i>Passing (detik)</i>	<i>Swing Empty (detik)</i>	<i>Total (detik)</i>	Keseragaman data	Normalitas data
1	7.66	5.11	4.47	4.08	21.32	seragam	normal
2	7.90	5.09	4.18	4.77	21.94	seragam	normal
3	6.85	4.70	5.76	3.79	21.10	seragam	normal
4	5.51	4.51	4.55	6.11	20.68	seragam	normal
5	6.70	3.87	4.27	5.60	20.44	seragam	normal
6	7.09	4.12	4.91	5.71	21.83	seragam	normal
7	6.68	5.06	4.85	4.67	21.26	seragam	normal
8	5.59	4.89	5.80	4.87	21.15	seragam	normal
9	7.43	4.99	4.02	4.70	21.14	seragam	normal
10	4.51	4.56	4.93	6.49	20.49	seragam	normal

Sumber : Pengolahan Data, 2016



Gambar 4.3a. Hasil Uji Normalitas Data *Cycle Time* EX 425 dengan *Minitab* 16.
Sumber : Pengolahan Data, 2016



Gambar 4.3b. Hasil Uji Keseragaman Data *Cycle Time* EX 425 dengan *Minitab* 16.

Sumber : Pengolahan Data, 2016

Tabel 4.2b. *Cycle time Rata-Rata Excavator*

Unit	<i>Digging</i> (detik)	<i>Swing Load</i> (detik)	<i>Passing</i> (detik)	<i>Swing Empty</i> (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

b. Perhitungan *Cycle Time Dump Truck*

Cycle time untuk *dump truck* didapatkan dari hasil pengamatan yang secara langsung dilakukan di lapangan. Data *cycle time dump truck* yang berada pada Excavator EX 425 dapat dilihat pada Tabel 4.3a. dan data *cycle time* rata-rata yang didapatkan dari pengolahan data yang telah dilakukan dapat dilihat pada Tabel 4.3b. berikut. (secara lengkap untuk semua *cycle time dump truck* pada masing-masing *excavator* dapat dilihat pada Lampiran D).

Tabel 4.3a. *Cycle Time Dump Truck* pada EX 425

Tempat Pengamatan : PIT GSB 01, Job Site KTD
 Tanggal Pengamatan : 09 November 2015
 Jam Pengamatan : 08.00 WITA
 No. Unit Alat Gali Muat : EX 425

DATA UNIT ALAT GALI MUAT

Jenis Alat Gali Muat : KOMATSU PC 400-8
 Kapasitas Alat Gali Muat : 2 BCM
 Jumlah Pengisian : 6 BUCKET
 Faktor Isian Bucket : 90 %
 Efisiensi Unit : 75 %

DATA ALAT ANGKUT

Jenis Alat Angkut : DT VOLVO FM 370
 Kapasitas Alat Angkut : 10.80 BCM
 Jumlah Alat Angkut : 5
 Jarak Front ke Disposal : 1200 m
 Efisiensi Unit : 75 %

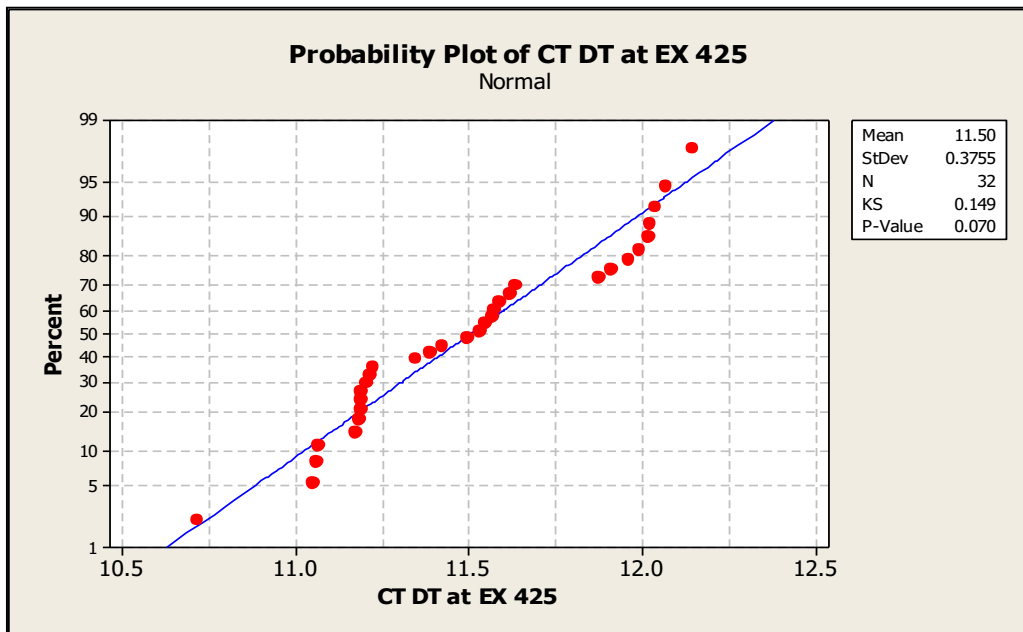
No.	Queueing Time (detik)	Spotting Load Time (detik)	Loading Time (detik)	Hauling Load Time (detik)	Spotting Dump Time (detik)	Dumping Time (detik)	Returning Time (detik)	Total Cycle Time with Queueing (detik)	Total Cycle Time without Queueing (detik)	Total Cycle Time with Queueing (menit)	Total Cycle Time without Queueing (menit)
1	34.30	17.99	127.31	254.44	20.57	26.77	233.42	714.80	680.50	11.91	11.34
2	79.40	13.15	126.36	266.44	17.36	24.87	235.07	762.65	683.25	12.71	11.39
3	21.70	12.41	128.55	250.05	14.97	27.56	259.20	714.44	692.74	11.91	11.55
4	38.03	11.65	125.37	266.52	21.96	23.47	236.39	723.39	685.36	12.06	11.42
5	32.10	19.05	126.00	264.20	15.02	25.58	221.39	703.34	671.24	11.72	11.19
6	27.40	11.65	125.62	266.58	19.03	26.93	222.14	699.35	671.95	11.66	11.20
7	36.90	5.67	126.54	288.01	19.74	34.91	219.18	730.95	694.05	12.18	11.57
8	28.40	14.71	126.49	265.48	19.34	28.62	215.58	698.62	670.22	11.64	11.17
9	40.53	7.45	125.38	286.33	22.81	33.87	241.57	757.94	717.41	12.63	11.96
10	28.30	5.16	126.85	308.33	16.40	27.66	236.67	749.37	721.07	12.49	12.02

(Sumber : Pengolahan Data, 2016)

Tabel 4.3b. *Cycle Time Rata-Rata Dump truck*

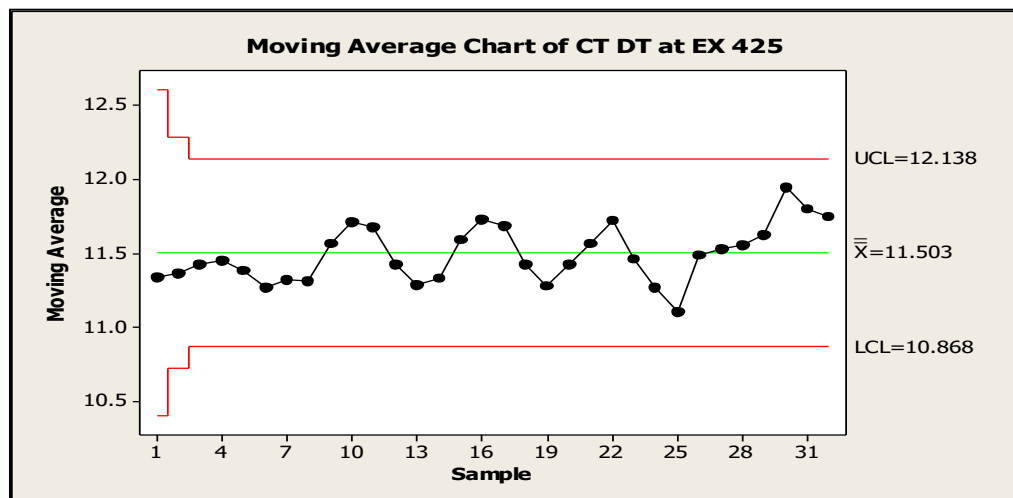
Unit	Distance (meter)	Queueing Time (detik)	Spotting Load Time (detik)	Loading Time (detik)	Hauling Load Time (detik)	Spotting Dump Time (detik)	Dumping Time (detik)	Returning Time (detik)	Total Cycle Time with Queueing (detik)	Total Cycle Time without Queueing (detik)	Total Cycle Time with Queueing (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



Gambar 4.4a. Hasil Uji Normalitas Data *Cycle Time Dump Truck* di EX 425 dengan *Minitab 16*.

Sumber : Pengolahan Data, 2016



Gambar 4.4b. Hasil Uji Keseragaman Data *Cycle Time Dump Truck* di EX 425 dengan *Minitab 16*.

Sumber : Pengolahan Data, 2016

c. Waktu Tunggu *Excavator* dan Waktu Antrian *Dump Truck*.

Dalam proses pemuatan, setiap *dump truck* akan mengalami waktu antrian bila jumlah armada *dump truck* yang ada di lokasi muatan melebihi jumlah armada yang dibutuhkan, dan itu berakibat menurunnya produktivitas *dump truck* dan tingginya biaya produksi karena *dump truck* yang menganggur menunggu pemuatan. Besarnya waktu antrian *dump truck* tergantung oleh banyaknya truk yang ditempatkan di lokasi pemuatan tersebut. Antrian yang terjadi pada umumnya dipengaruhi oleh adanya pergerakan alat muat, kerasnya material dan terganggunya proses pemuatan. Bila jumlah armada yang ditempatkan sama dengan jumlah armada truk yang dibutuhkan akan mengurangi besarnya waktu antrian dan dapat meningkatkan produktivitas. Namun bila jumlah *dump truck* yang ditempatkan jumlahnya lebih sedikit daripada yang dibutuhkan, maka *excavator* akan lebih sering menunggu kedatangan alat muat, yang dapat berakibat menurunnya produktivitas *excavator*.

Jumlah kedatangan *dump truck* dalam setiap *excavator* sesuai data yang sudah diambil di lapangan, dapat diuji distribusinya yaitu dengan uji kesesuaian atau sering disebut *goodnes of fit* dengan bantuan software IBM SPSS Statistics 20.

Hasil pengujian menunjukkan bahwa distribusi kedatangan dump truck menunjukkan distribusi Poisson yang dapat ditunjukkan pada Tabel 4.4a. dibawah ini. Hasil pengujian dengan *IBM SPSS Statistics 20* menunjukkan bahwa data berdistribusi Poisson dengan cara membandingkan nilai signifikansi (*Asymp. Sig*) dengan nilai taraf nyata yang telah ditetapkan sebesar 0.05. Pada hasil pengujian menunjukkan bahwa semua nilai signifikansi lebih besar dari 0.05, sehingga dapat disimpulkan bahwa semua data kedatangan truk masing-masing *excavator* memiliki distribusi Poisson.

Tabel 4.4. 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 sesuai dengan rumus (13) maka besarnya waktu tunggu optimum setiap armada *dump truck* yang ditempatkan pada setiap lokasi penelitian adalah sebagai berikut.

Contoh perhitungan :

Pada EX 425

$$\begin{aligned} \text{Waktu tunggu} &= (TL + STD + DT + TE) - ((N - 1) (STL + LT)) \\ &= \text{Waktu pengangkutan} - ((\text{Jumlah Dump truck} - 1) \times \text{Waktu} \\ &\quad \text{Pemuatan}) \end{aligned}$$

Jumlah *dump truck* = 1, 2, 3, N (proses simulasi)

Untuk N = 1 maka :

$$\text{Waktu tunggu} = 9.21 - ((1-1) \times 2.298) = 9.21 \text{ menit}$$

Selanjutnya dihitung juga untuk jumlah *dump truck* 2, 3, dst. Hasil hitungan waktu tunggu *excavator* EX 425 dapat dilihat pada Tabel 4.5a .

Pada saat kondisi unit kelebihan *dump truck* maka memungkinkan terjadinya antrian pada masing-masing *excavator*. Waktu antrian *dump truck* dapat dilihat pada Tabel 4.5b. di bawah ini.

Tabel 4.5a. Waktu Tunggu *Excavator EX 425*

Waktu Pengangkutan	Waktu Pemuatan	Jumlah <i>Dump Truck</i>	Waktu Tunggu <i>Excavator</i>
Menit	Menit	Unit	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 4.5b. Waktu Antrian Aktual *Dump truck*

No. Unit <i>Excavator</i>	JARAKDISPOSAL	Waktu Antrian <i>Dump Truck</i> (menit)	<i>Cycle Time DT</i> dengan Antrian (menit)	<i>Cycle Time DT</i> Tanpa Antrian (menit)
425	1800	0.66	12.16	11.50
429	1200	0.36	9.80	9.44
430	1400	0.25	11.28	11.03
431	1300	0.26	10.47	10.21
432	1300	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 4.6 di bawah ini. Potensi peningkatan produksi inilah yang dapat dilakukan dengan optimalisasi mengurangi waktu antrian.

Contoh perhitungan produksi *dump truck* pada *excavator* EX 425.

Produksi *dump truck* dapat dihitung menggunakan persamaan (4), sebagai berikut.

Produksi per jam :

$$Q = \frac{q \times 3600 \times e}{CT \text{ (detik)}} \quad \text{atau} \quad Q = \frac{q \times 60 \times e}{CT \text{ (menit)}}$$

dimana :

Q = Produktivitas per jam (m^3 /jam atau BCM/jam)

q = Produktivitas per siklus (m^3 atau BCM) = $q_1 \times K$

q_1 = Kapasitas bak truk/*vessel* = 10.80 BCM

K = Faktor Pengisian *bucket excavator* = 100%

CT = Waktu siklus (detik atau menit) = 12.16 menit

3600 = Konversi jam \rightarrow detik ; 60 = konversi menit \rightarrow jam

E = Efisiensi kerja = 0.75

Maka $Q = \frac{10.80 \times 100\% \times 60 \times 0.75}{12.16} = 39.96$ BCM/jam

Tabel 4.6 Produksi *Dump truck* dengan Antrian dan Tanpa Antrian

No. Unit <i>Excavator</i>	Kapasitas <i>Vessel</i>	Efisiensi DT	Jumlah DT	Produksi DT dengan Antrian (menit)	Produksi DT 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

4.1.10. Status Unit *Excavator* dan *Dump Truck*

Kondisi unit *excavator* dan *dump truck* yang digunakan saat penelitian dapat dilihat pada Tabel 4.7a. dan Tabel 4.7b. Status unit *excavator* dari total 6 unit, 5 unit status *ready* (siap kerja) dan 1 unit status *breakdown* (rusak dalam perbaikan), sedangkan status unit *dump truck* dari total 32 unit, 27 unit status *ready* dan 5 unit status *breakdown*. Dalam penelitian ini faktor availabilitas dan utilisasi dianggap 100 % bagi unit yang *ready* (siap kerja) karena untuk perhitungan dianggap tidak ada kendala dalam operasionalnya.

Tabel 4.7a. Status Unit *Excavator*

STATUS UNIT			
JENIS	TIPE	NO. UNIT	STATUS
<i>EXCAVATOR</i>	KOMATSU PC 400	EX 424	<i>Breakdown</i>
		EX 425	<i>Ready</i>
		EX 429	<i>Ready</i>
		EX 430	<i>Ready</i>
		EX 431	<i>Ready</i>
		EX 432	<i>Ready</i>

Sumber : Pengolahan Data, 2016

Tabel 4.7b. Status Unit *Dump Truck*

STATUS UNIT			
JENIS	TIPE	NO. UNIT	STATUS
<i>DUMP TRUCK</i>	VOLVO FM 370	DT-331	<i>Ready</i>
		DT-332	<i>Breakdown</i>
		DT-333	<i>Ready</i>
		DT-338	<i>Ready</i>
		DT-343	<i>Ready</i>
		DT-344	<i>Ready</i>
		DT-345	<i>Ready</i>
		DT-347	<i>Ready</i>
		DT-348	<i>Ready</i>
		DT-349	<i>Ready</i>
		DT-350	<i>Ready</i>
		DT-356	<i>Ready</i>
		DT-359	<i>Ready</i>
		DT-360	<i>Ready</i>
		DT-361	<i>Ready</i>
		DT-362	<i>Ready</i>
		DT-366	<i>Ready</i>
		DT-370	<i>Breakdown</i>
		DT-375	<i>Breakdown</i>
		DT-376	<i>Ready</i>
		DT-304	<i>Breakdown</i>
		DT-305	<i>Ready</i>
		DT-3100	<i>Ready</i>
		DT-3106	<i>Ready</i>
		DT-3107	<i>Ready</i>
		DT-3108	<i>Ready</i>
		DT-3109	<i>Ready</i>
DT-3110	<i>Breakdown</i>		
DT-3111	<i>Ready</i>		
DT-3154	<i>Ready</i>		
DT-3155	<i>Ready</i>		
DT-3156	<i>Ready</i>		
DT-3156	<i>Ready</i>		

Sumber : Pengolahan Data, 2016

4.1.11. Produksi Aktual Alat yang Digunakan dan *Match Factor* Aktual

Berikut ini merupakan produksi aktual dari *excavator* dan *dump truck* yang digunakan berdasarkan hasil pengolahan data yang telah dilakukan. Berdasarkan data aktual tersebut menunjukkan bahwa untuk aktual produksi sebagian besar unit tidak tercapai dari target yang telah ditentukan yaitu 240 BCM/jam. Demikian pula pada produksi *dump truck* dari target yang ditentukan masing-masing juga sebagian besar tidak tercapai. Pada *Match Factor* aktual menunjukkan ada 4 unit dengan nilai lebih dari faktor 1. Hal ini menunjukkan bahwa terjadi kelebihan unit *dump truck* yang dapat menyebabkan pemborosan dan biaya yang besar.

Contoh Perhitungan MF aktual pada *Excavator* EX 425

Match Factor excavator dan *dump truck* sesuai dengan persamaan (8) :

$$MF = \frac{Na \times Ctm}{Nm \times Cta} \dots\dots\dots (8)$$

dimana :

Na = Jumlah *dump truck* = 6

Nm = Jumlah *excavator* = 1

Cta = *cycle time dump truck* (tanpa antrian) = 11.50 menit

Ctm = *cycle time excavator*

= jumlah isian bucket x cycle time excavator per isian

= 6 x 0.353 menit = 2.118 menit

Sehingga MF aktual = $\frac{6 \times 2.118}{1 \times 11.50} = 1.10$

Contoh Perhitungan Produksi Aktual pada *Excavator* EX 425

Perhitungan produksi dapat dihitung dengan persamaan (4)

Produksi per jam :

$$Q = \frac{q \times 3600 \times e}{CT \text{ (detik)}} \quad \text{atau} \quad Q = \frac{q \times 60 \times e}{CT \text{ (menit)}} \dots\dots\dots (4)$$

dimana :

Q = Produktivitas per jam (m³/jam atau BCM/jam)

q = Produktivitas per siklus (m³ atau BCM) = q1 x K

q1 = Kapasitas *bucket* = 2.0 BCM

K = Faktor Pengisian *bucket excavator* = 90%

CT = Waktu siklus (detik atau menit) = 0.3530 menit

3600 = Konversi jam → detik ; 60 = konversi menit → jam

E = Efisiensi kerja = 0.75

Maka $Q = \frac{2.0 \times 90\% \times 60 \times 0.75}{0.3530} = 229.5 \text{ BCM/jam}$

Hasil perhitungan produksi dan *match factor* aktual untuk semua unit *excavator* dan masing-masing *dump truck* dapat dilihat pada tabel 4.7 di bawah ini.

Tabel 4.7c. Produksi dan *Match Factor* aktual unit *excavator* dan *dump truck*.

Excavator	Jumlah DT Aktual	Total Produksi Excavator (BCM/Jam)	Produksi per DT per Jam (BCM) dg antrian	Target Produksi Excavator (BCM/Jam)	Target Produksi DT (BCM/Jam)	Match Factor
EX 425	6	229.5	40.0	240.0	41	1.10
EX 429	5	237.5	49.6	240.0	49	1.08
EX 430	6	223.8	43.1	240.0	46	1.18
EX 431	5	254.7	46.4	240.0	48	0.93
EX 432	5	229.5	45.7	240.0	48	1.04
Total		1174.9	224.8	1200.0	232.0	1.07

Sumber : Pengolahan Data, 2016

4.2. Analisis

4.2.1. Menentukan Jumlah *Dump Truck* Yang Optimal

Dalam menentukan jumlah *dump truck* yang optimal dapat digunakan pendekatan metode riset operasi yaitu metode *match factor*, metode antrian dan metode *linear programming*. Metode ini dipilih berdasarkan beberapa acuan dari peneliti terdahulu sesuai dengan kajian teori sebelumnya. Jumlah *dump truck* yang optimal ini diharapkan dapat memberikan produksi yang optimal dengan biaya yang seefisien mungkin.

4.2.1.1. Hitungan Jumlah *Dump Truck* Metode *Match Factor* (MF)

Match factor merupakan keserasian/kombinasi antara alat gali-muat terhadap *dump truck* sehingga pada proses pengupasan *overburden* tidak *undertruck* (kekurangan *dump truck*) atau *overtruck* (kelebihan *dump truck*). Apabila jumlah *dump truck* yang ditempatkan pada daerah tersebut lebih sedikit (*undertruck*) dari jumlah armada yang dibutuhkan mengakibatkan *excavator* akan lebih sering

menunggu kedatangan *dump truck*, sehingga kapasitas produksi akan berkurang. Sebaliknya, bila jumlah truk yang ditempatkan lebih banyak dari jumlah armada *dump truck* yang dibutuhkan di lokasi tersebut, akan mengakibatkan *dump truck* akan mengantri untuk dilayani. Hal tersebut berakibat waktu menunggu *dump truck* menjadi lebih besar dan biaya alat *dump truck* bertambah tidak seiring dengan penambahan produksi setiap armada *dump truck*.

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 dengan Tabel 4.8 berikut. Dari hasil perhitungan dengan *match factor* = 1 maka jumlah *dump truck* yang dibutuhkan total berjumlah 25 unit, dimana aktualnya berjumlah 27 unit. Dengan demikian dapat mengurangi *dump truck* sejumlah 2 unit.

Contoh Perhitungan jumlah *dump truck* dengan MF = 1 pada EX 425 sesuai dengan persamaan (9), yaitu :

$$Na = \frac{Cta}{Ctm} \dots\dots\dots (9)$$

Dimana : Na = Jumlah *dump truck*

Cta = *cycle time dump truck* (tanpa antrian) = 12.16 menit

Ctm = *cycle time excavator* = 2.118 menit

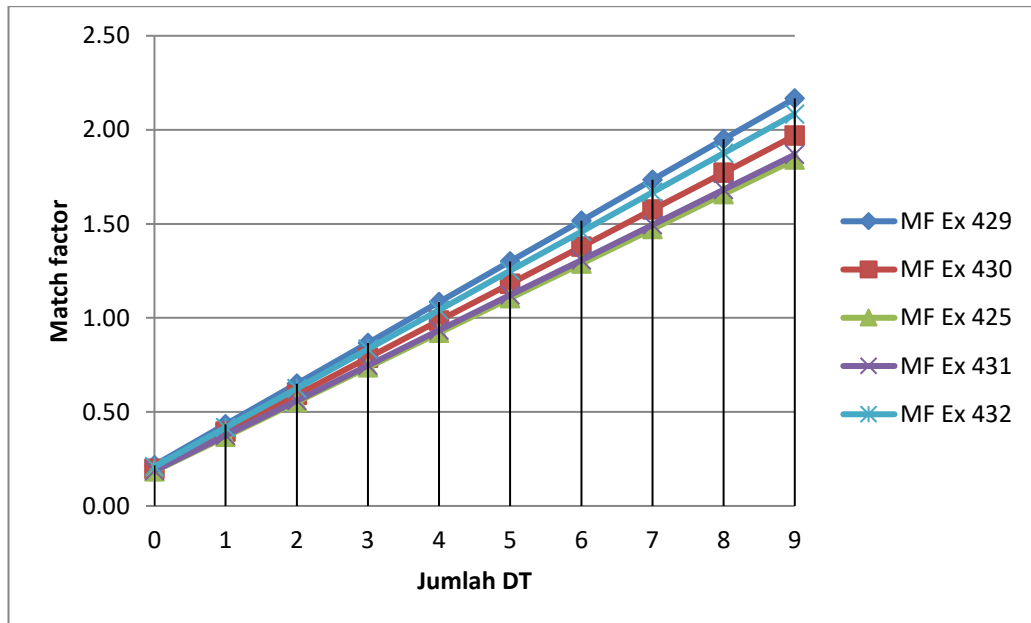
Sehingga MF aktual = $\frac{11.50}{2.118} = 5.43 \approx 5$ unit

Tabel 4.8 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

Jumlah *dump truck* yang digunakan juga berpengaruh pada nilai MF yang dihasilkan. Dari setiap *excavator* yang melayani akan terjadi perubahan nilai MF untuk setiap penambahan jumlah *dump truck* seperti tampak pada gambar 4.5 di bawah ini. Detail hitungan secara lengkap dapat dilihat pada Lampiran F.



Gambar 4.5 Simulasi Nilai *Match Factor* Tiap Jumlah DT pada Masing-masing Excavator

Sumber : Pengolahan Data, 2016

4.2.1.2. Hitungan Jumlah *Dump Truck* dengan Metode Antrian

Perhitungan yang telah dilakukan di atas merupakan perhitungan yang dilakukan dengan metode *match factor* namun metode tersebut 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, yaitu dengan teori antrian agar didapatkan jumlah alat yang benar-benar optimal.

Berdasarkan simulasi yang dilakukan, maka jumlah armada *dump truck* yang ditempatkan sangat bergantung pada efisiensi biaya yang dikeluarkan dan juga terhadap pengaruh *cycle time dump truck* dari awal pemuatan hingga kembali lagi ke lokasi pemuatan semula. Simulasi tersebut berdasarkan atas teori antrian, termasuk dalam distribusi Poisson dan pengaruh dari waktu antrian. Distribusi Poisson tersebut digunakan dalam menghitung nilai probabilitas antrian yang berpengaruh terhadap nilai biaya pemindahan material untuk setiap BCM (*Bank Cubic Meter*) material *overburden* (lapisan tanah penutup). Berdasarkan hasil simulasi tersebut, pemilihan jumlah armada truk ditentukan pada saat nilai biaya pemindahan material mencapai nilai minimum. Untuk memeriksa bahwa data jumlah armada truk yang dibutuhkan sesuai dengan keadaan di lapangan atau tidak, dapat dilakukan simulasi berdasarkan waktu antrian.

Dalam proses pemuatan material di lokasi pemuatan, sering terlihat aktivitas antrian *dump truck* untuk mengunggu dilayani oleh alat muat. Namun, pada lokasi pemuatan lain, alat muat menunggu kedatangan alat angkut untuk dilayani. Proses menunggu dan mengantri tersebut terjadi karena jumlah armada *dump truck* lebih sedikit atau lebih banyak dari armada yang seharusnya dilayani. Jumlah armada yang lebih sedikit dari armada yang seharusnya akan menyebabkan alat muat lebih banyak menganggur. Sedangkan bila armada *dump truck* lebih banyak dari armada yang seharusnya, maka akan timbul antrian yang tidak sedikit. Adanya waktu menunggu di lokasi pemuatan dapat mengurangi produksi material. Untuk memprediksi jumlah *dump truck* yang ditempatkan pada suatu lokasi pemuatan dengan nilai produksi yang optimal dapat digunakan simulasi berdasarkan metode antrian.

Optimasi jumlah *dump truck* berdasarkan teori antrian ini yang digunakan dalam perhitungan kali ini terdiri dari beberapa asumsi, yaitu :

- a. Sumber asal *dump truck* tidak terbatas
- b. Metode antrian yang digunakan adalah *single channel single phase*
- c. Pola kedatangan *dump truck* mengikuti pola distribusi Poisson
- d. Disiplin pelayanan mengikuti pedoman *First Come First Serve* (FCFS) atau *First In First Out* (FIFO)

- e. Fasilitas pelayanan terdiri dari saluran tunggal
- f. Panjangnya antrian tidak terbatas
- g. Tidak ada penolakan maupun pengingkaran

a. Nilai Probabilitas Tidak Ada Dump Truck Dalam Antrian

Dalam simulasi metode antrian dilakukan perhitungan nilai probabilitas tidak ada dump truck dalam antrian. Nilai probabilitas (Po) dapat dihitung dengan menggunakan persamaan (10).

Pada tabel 4.9 dapat dilihat nilai probabilitas (Po) tidak ada dump truck dalam antrian yang diperoleh dengan metode distribusi Poisson untuk *excavator* EX 425. Secara lengkap nilai probabilitas (Po) untuk masing-masing *excavator* dapat dilihat pada lampiran G.

Contoh Perhitungan untuk Probabilitas (Po) tidak ada *dump truck* dalam antrian pada *Excavator* EX 425 contoh dengan jumlah armada 3, sesuai persamaan (10) :

$$P_o (N a, x) = \frac{e^{-x} x^{N a}}{N a !} = \frac{p (N a, x)}{P (N a, x)} \dots\dots\dots (10)$$

Dimana :

Po (Na,x) = Probabilitas tidak ada truk dalam antrian

e = konstanta logaritma natural = 2.71828

Na = Jumlah truk dalam armada = 3

Ta = Waktu siklus truk, tidak termasuk waktu *loading* dan tidak termasuk antrian (dalam jam) = 0.1454 jam

Ts = Waktu untuk memuat sebuah truk (jam) = 0.0353

r = Rata-rata tingkat kedatangan truk per jam, r = 1/Ta = 1/0.1454 = 6.8766

m = Rata-rata tingkat pelayanan per jam, m = 1/Ts = 1/0.0353 = 28.3340

x = Jumlah truk yang dibutuhkan dalam satu armada, x = m/r = 28.3340/6.8766 = 4.1

$$p = \frac{e^{-x} x^{N a}}{N a !} = \frac{(2.71828^{-4.1})(4.1^3)}{(3)(2)(1)} = 0.189323$$

P = kumulatif Distribusi Poisson, merupakan nilai kumulatif Distribusi Poisson yang diperoleh dari tabel dengan nilai x = 4.1 dari tabel menunjukkan 0.4142 (tabel terlampir pada Lampiran H).

$$P_o = \frac{p(Na, x)}{P(Na, x)} = \frac{0.1893}{0.4142} = 0.4571$$

Tabel 4.9 Jumlah *dump truck* dan nilai probabilitas (P_o) untuk EX 425

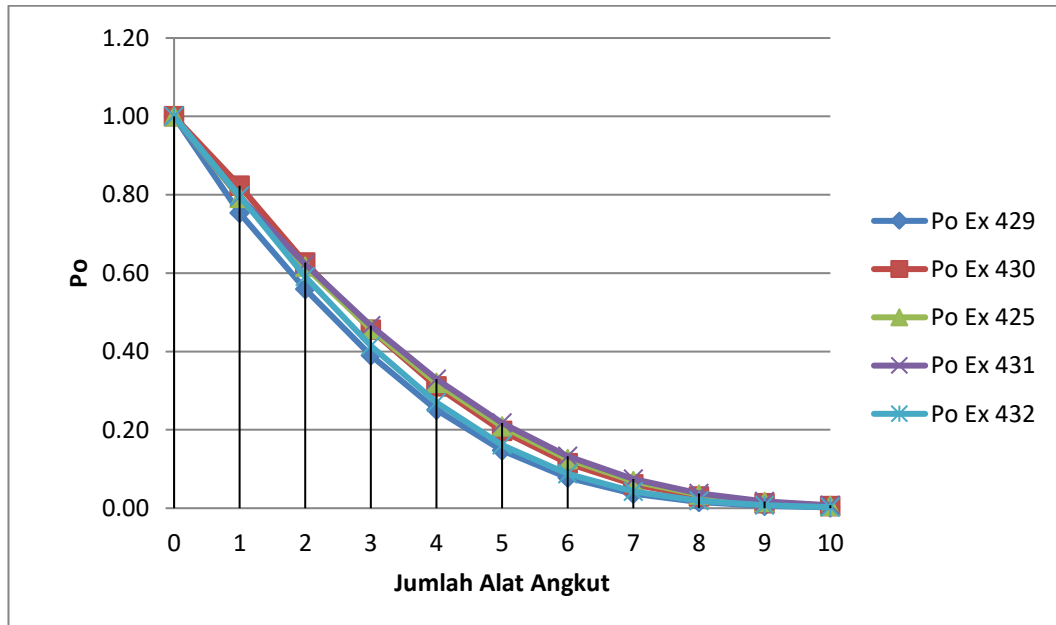
Na	Po	1-Po
0	1.0000	0.0000
1	0.7918	0.2082
2	0.6159	0.3841
3	0.4571	0.5429
4	0.3201	0.6799
5	0.2089	0.7911
6	0.1256	0.8744
7	0.0689	0.9311
8	0.0343	0.9657
9	0.0155	0.9845
10	0.0063	0.9937
11	0.0024	0.9976
12	0.0008	0.9992
13	0.0003	0.9997
14	0.0001	0.9999
15	0.0000	1.0000

Sumber : Pengolahan Data, 2016

Nilai probabilitas tidak ada *dump truck* dalam antrian (P_o) yaitu dari nilai nol sampai dengan satu, jika nilai P_o sama dengan nol maka hal tersebut menandakan adanya antrian yang terjadi pada *dump truck*, sedangkan jika nilai P_o sama dengan satu maka nilai tersebut menandakan tidak adanya antrian yang terjadi pada *dump truck*. Tampilan simulasi untuk nilai P_o tidak ada antrian *dump truck* pada masing-masing *excavator* dapat dilihat pada grafik di bawah ini.

Nilai P_o didapatkan dari nilai distribusi poisson dibagi dengan nilai kumulatif distribusi poisson, pada setiap nilai dari grafik, untuk P_o yang dimulai dengan 1, maka untuk *dump truck* dimulai dengan nilai nol ($n=0$), dan bila dengan jumlah maksimum *dump truck* yang diambil. Besarnya tingkat pelayanan yang terjadi didasarkan pada besarnya jumlah *dump truck* yang didapatkan, jumlah *dump truck* didapatkan dari perbandingan antara *Cycle time dump truck* dengan waktu loading

alat-gali muat yang digunakan pada masing-masing pit, perbedaan *Cycle time* terjadi karena perbedaan tipe alat yang digunakan serta jarak tempuh dari *dump truck* yang berbeda pada masing-masing alat muat.



Gambar 4.6 Probabilitas Berdasarkan Jumlah *Dump truck*.

Sumber : Pengolahan Data, 2016

b. Waktu Tunggu

Dalam pengerjaan material, kadang dengan sejumlah alat yang digunakan akan mempengaruhi terjadinya waktu antri untuk *dump truck* atau terjadinya waktu tunggu untuk alat muat, sehingga dengan simulasi ini diharapkan untuk mendapatkan jumlah *dump truck* yang dapat meminimalisir terjadinya waktu tunggu baik untuk *dump truck* itu sendiri maupun untuk alat muat yang digunakan. Besarnya waktu tunggu dapat dihitung dengan persamaan (13)

Contoh perhitungan waktu tunggu untuk EX 425 untuk jumlah truk yaitu :

$$\begin{aligned}
 W &= [TL + STD + DT + TE] - (N-1)[STL+LT] \\
 &= (\text{waktu pengangkutan}) - (N-1)(\text{waktu pemuatan})
 \end{aligned}
 \tag{13}$$

Keterangan :

W = waktu tunggu

N = jumlah truk yang dibutuhkan

TL = waktu perjalanan bermuatan / *hauling loading time* = 4.6144 menit

TE = waktu perjalanan kosong / *returning time* = 3.7838 menit

STD = waktu pengaturan posisi di lokasi pembuangan material / *spot dump time*
= 0.3133 menit

DT = waktu pembuangan material/ *dumping time* = 0.4938 menit

STL = waktu pengaturan posisi di lokasi pemuatan / *spot load time* = 0.1802
menit

LT = waktu pemuatan material / *loading time* = 2.1176 menit

W = (4.6144 + 0.3133 + 0.4938 + 3.7838) - ((3-1)(0.1802+ 2.1176))
= 4.610 menit

Banyaknya jumlah truk yang dibutuhkan pada satu *excavator* dalam lokasi pemuatan dapat diterapkan juga pada simulasi perhitungan berdasarkan waktu tunggu. Simulasi waktu tunggu yang dimaksud adalah simulasi yang berdasarkan tingkat kontinuitas *excavator* dalam melayani *dump truck*. Yang diupayakan dalam simulasi ini adalah menghindari *excavator* menganggur dan mengurangi waktu antrian truk menjadi seminimal mungkin. Dalam tabel perhitungan simulasi waktu tunggu ini, akan diperoleh nilai positif dan nilai negatif. Nilai positif menjelaskan bahwa pada saat jumlah *dump truck* n, *excavator* harus menunggu beberapa lama. Hal tersebut dikarenakan jumlah armada *dump truck* sedikit yang dilayani oleh *excavator*. Sementara posisi nilai negatif menjelaskan waktu yang dihabiskan oleh *dump truck* menunggu untuk dilayani. Untuk mengurangi banyaknya antrian *dump truck* yang terjadi, maka diambil posisi pada saat nilai negatif minimum.

Simulasi dilakukan dengan penambahan *dump truck* satu demi satu, hingga hasil perhitungan dari nilai positif mencapai posisi nilai negatif. Setelah itu penambahan jumlah truk dapat dihentikan pada saat awal mencapai nilai negatif. Hal yang perlu diperhatikan dalam simulasi ini adalah penempatan posisi waktu pemuatan dan waktu tempuh dengan perbandingan yang tepat, sehingga akan diperoleh penempatan *dump truck* sesuai dengan waktu siklus dari *dump truck* tersebut.

Waktu tunggu untuk EX 425 dapat diperlihatkan pada Tabel 4.10 di bawah ini. Tabel perhitungan simulasi lengkap dapat dilihat pada lampiran I. Pada Tabel 4.10 dapat dilihat bahwa 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.

Tabel 4.10 Waktu Tunggu *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

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 4.11 di bawah ini. Dengan demikian berdasarkan waktu tunggu, jumlah *dump truck* optimal adalah 26 unit.

Tabel 4.11 Jumlah DT Optimal dengan Waktu Tunggu

No. <i>Excavator</i>	Jumlah DT Optimal
EX 425	6
EX 429	5
EX 430	5
EX 431	5
EX 432	5
TOTAL	26

Sumber : Pengolahan Data, 2016

4.2.1.3. Hitungan Jumlah *Dump Truck* dengan Metode *Linear Programming*

Penentuan jumlah *dump truck* yang optimal dengan tujuan peningkatan produksi dan biaya minimum dapat dilakukan juga dengan metode *Linear Programming (LP)*. Langkah-langkah dalam menentukan jumlah *dump truck* yang optimal tersebut dapat dilakukan dengan tahapan sebagai berikut :

4. Menentukan variabel-variabel dari persoalan

Dalam hal ini variabel-variabel persoalan adalah jumlah *dump truck* yang akan digunakan pada setiap *excavator* , yaitu :

x_1 = jumlah DT EX 1

x_2 = jumlah DT EX 2

x_3 = jumlah DT EX 3

x_4 = jumlah DT EX 4

x_5 = jumlah DT EX 5

5. Menentukan batasan-batasan yang harus dikenakan untuk memenuhi batasan sistem yang dimodelkan.

$$x_1 + x_2 + x_3 + x_4 + x_5 \leq 27$$

$p_1 \rightarrow$ Produksi unit *dump truck* 1 dst.

$$p_1 x_1 \geq 240$$

$$p_2 x_2 \geq 240$$

$$p_3 x_3 \geq 240$$

$$p_4 x_4 \geq 240$$

$$p_5 x_5 \geq 240$$

6. Menentukan tujuan (maksimasi atau minimasi) yang harus dicapai untuk menentukan pemecahan optimum dari semua nilai yang layak dari variabel tersebut.

Dalam hal ini tujuannya adalah minimasi biaya produksi *dump truck*. Persamaan tujuan sebagai berikut, dimana c adalah cost atau biaya per *dump truck*.

$$Z = C_1 X_1 + C_2 X_2 + C_3 X_3 + C_4 X_4 + C_5 X_5$$

Setelah menentukan 3 langkah di atas maka selanjutnya adalah memasukkan persamaan tersebut ke dalam program *POM for Windows*. Data yang dimasukkan ke dalam format *POM for Windows* seperti pada tabel 4.12 di bawah ini. Hasil perhitungan *POM for Windows* dapat dilihat pada *Output Solution Data* pada

Tabel 4.13 di bawah ini. Pada Tabel 4.14 ditunjukkan bahwa Jumlah DT total adalah 26 unit.

Tabel 4.12. Input Data di *POM for Windows*

	X1	X2	X3	X4	X5	RHS Equation form
Minimize	0.7219	0.5925	0.6921	0.6410	0.6378	Min. $0.7219X_1 + 0.5925X_2 + 0.6921X_3 + 0.6410X_4 + 0.6378X_5$
Constraints 1	1	1	1	1	1	$\leq 27 X_1 + X_2 + X_3 + X_4 + X_5$
Constraints 2	42.25					≥ 240 $42.25 X_1 \geq 240$
Constraints 3		51.48				≥ 240 $51.48 X_2 \geq 240$
Constraints 4			44.07			≥ 240 $44.07 X_3 \geq 240$
Constraints 5				47.58		≥ 240 $47.58 X_4 \geq 240$
Constraints 6					47.82	≥ 240 $47.82 X_5 \geq 240$

Sumber : Pengolahan Data, 2016

Tabel 4.13. *Output Solution Data* di *POM for Windows*

Variable	Value
X 1	5.6805
X 2	4.662
X 3	5.4459
X 4	5.0441
X 5	5.0188
<i>Optimal Value (Z)</i>	17.0664

Sumber : Pengolahan Data, 2016

Tabel 4.14. Jumlah *Dump Truck* hasil *LP* program *POM for Windows*

UNIT EXCAVATOR	JUMLAH UNIT SIMULASI LP <i>POM for Windows</i>	JUMLAH UNIT SIMULASI LP <i>POM for Windows</i> (pembulatan)
425	5.681	6.0
429	4.662	5.0
430	5.446	5.0
431	5.044	5.0
432	5.019	5.0
Total	25.9	26.0

Sumber : Pengolahan Data, 2016

4.2.2. Menentukan Jumlah Produksi Yang Optimal

4.2.2.1. Hitungan Jumlah Produksi Metode *Match Factor*

Berdasarkan hitungan jumlah *dump truck* yang optimal dengan metode *Match Factor* di atas, maka dapat dihitung jumlah produksi per jam yang dihasilkan. Hasil hitungan hitungan produksi dapat dilihat pada Tabel 4.15 di bawah ini. Produksi optimal yang dihasilkan dari metode *match factor* adalah 1166 BCM/Jam dengan jumlah *dump truck* 25 unit.

Tabel 4.15. Produksi berdasarkan Jumlah DT dengan *Match Factor* = 1

No. Unit Excavator	Produksi per DT per Jam (BCM)	Kebutuhan Unit DT Simulasi MF = 1	Kebutuhan Unit DT Simulasi MF = 1 (Pembulatan)	Produksi Total DT Simulasi per Jam (BCM)
EX 425	42.25	5.43	5	211.2
EX 429	51.48	4.61	5	257.4
EX 430	44.07	5.08	5	220.3
EX 431	47.58	5.35	5	237.9
EX 432	47.82	4.80	5	239.1
Total	233.20	25.3	25	1166.0

Sumber : Pengolahan Data, 2016

4.2.2.2. Hitungan Jumlah Produksi Metode Antrian

Berdasarkan hitungan jumlah *dump truck* yang optimal dengan metode antrian di atas, maka dapat dihitung jumlah produksi yang dihasilkan. Produksi ideal dapat dihitung dengan perhitungan dari produktivitas *dump truck* dikalikan dengan jumlah unit hasil perhitungan di atas.

Hasil hitungan hitungan produksi berdasarkan jumlah *dump truck* dengan metode antrian pada masing-masing *excavator* dapat dilihat pada Tabel 4.16.

Tabel 4.16. Produksi berdasarkan Jumlah DT dengan Metode Antrian

<i>Excavator</i>	Jumlah DT (unit)	Produktivitas DT (BCM per Jam)	Total Produksi DT (BCM per Jam)
EX 425	6	42	253.5
EX 429	5	51	257.4
EX 430	5	44	220.3
EX 431	5	48	237.9
EX 432	5	48	239.1
TOTAL	26	233	1208.2

Sumber : Pengolahan Data, 2016

4.2.2.3. Hitungan Jumlah Produksi Metode *Linear Programming*

Berdasarkan hitungan jumlah *dump truck* yang optimal dengan metode *Linear Programming* di atas, maka dapat dihitung jumlah produksi yang dihasilkan. Produksi yang dihasilkan merupakan perkalian antara jumlah unit dengan produksi *dump truck* per jam. Hasil hitungan produksi dapat dilihat pada Tabel 4.17 di bawah ini. Produksi optimal yang dihasilkan dengan *metode linear programming* secara total adalah 1208.2 BCM.

Tabel 4.17. Jumlah Produksi berdasarkan Metode *Linear Programming*

<i>Excavator</i>	Jumlah DT (unit)	Produktivitas DT (BCM per Jam)	Total Produksi DT (BCM per Jam)
EX 425	6	42	253.5
EX 429	5	51	257.4
EX 430	5	44	220.3
EX 431	5	48	237.9
EX 432	5	48	239.1
TOTAL	26	233	1208.2

Sumber : Pengolahan Data, 2016

4.2.3. 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. Dari sini bisa diperoleh biaya produksi minimal yang diinginkan sesuai dengan produksi dan jumlah *dump truck* yang optimal.

4.2.3.1. Hitungan Biaya Produksi Metode *Match Factor*

Hitungan biaya produksi aktivitas pengangkutan (*hauling cost*) berdasarkan jumlah DT dan produksi DT dengan metode *Match Factor* dapat dilihat pada Tabel 4.18 di bawah ini.

Contoh perhitungan biaya produksi sebagai berikut.

Cost DT per unit 30.5 USD/ Jam dengan produksi per jam adalah 211 BCM/Jam dan jumlah DT ada 5 unit.

Biaya produksi DT tersebut adalah :

$$\underline{30.5 \text{ USD/Jam} \times 5 \text{ unit}} = 0.72 \text{ USD/BCM.}$$

211 BCM/jam

Cost Excavator EX 425 sebesar 60.8 USD/BCM dengan produksi per jam adalah 211 BCM/Jam dan jumlah Excavator ada 1 unit maka biaya *excavator* atau *loading cost* adalah 60.8 USD/BCM dibagi 211 BCM/jam dengan hasil 0.29 USD/BCM. Total *Cost* Produksi pada Excavator EX 425 adalah *hauling cost* ditambah dengan *loading cost* menjadi 1.01 USD/BCM. Apabila dihitung untuk semua *cost* masing-masing *excavator* maka total cost sebesar 0.919 USD/BCM

Tabel 4.18. 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)

4.2.3.2. Hitungan Biaya Produksi Metode Antrian

Hitungan biaya produksi aktivitas pengangkutan (*hauling cost*) berdasarkan jumlah DT dan produksi DT dengan metode Antrian dapat dilihat pada Tabel 4.19 di bawah ini. Biaya total produksi (*loading* dan *hauling cost*) berdasarkan hitungan metode antrian adalah 0.909 USD/BCM.

Tabel 4.19. 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)

4.2.3.3. Hitungan Biaya Produksi Metode *Linear Programming*

Hitungan biaya produksi aktivitas pengangkutan (*hauling cost*) berdasarkan jumlah DT dan produksi DT dengan metode *Linear Programming* dapat dilihat pada Tabel 4.20 di bawah ini. Berdasarkan hitungan metode *linear programming* biaya produksi (*loading dan hauling cost*) yang efisien adalah 0.909 USD/BCM.

Tabel 4.20. Biaya Produksi dengan Metode *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

BAB V PEMBAHASAN

5.1. Temuan Utama

Tujuan penelitian ini adalah untuk menentukan perencanaan kebutuhan alat angkut yang optimal, produksi optimal dan biaya minimal sesuai dengan metode *match factor*, metode antrian dan metode *linear programming*. Untuk mencapai tujuan tersebut telah dilakukan perhitungan dan analisa sesuai dengan metode *match factor*, metode antrian dan *linear programming*.

5.1.1. Perencanaan Kebutuhan *Dump Truck* yang Optimal

Berdasarkan pengumpulan data dan hasil pengolahan data yang sudah dilakukan, kebutuhan *dump truck* yang optimal dapat dihitung menggunakan metode *match factor*, metode antrian dan metode *linear programming*. Masing-masing metode menghasilkan jumlah *dump truck* yang hampir sama.

Jumlah *dump truck* dengan metode *match factor* diperoleh total *dump truck* 25 unit dengan penyebaran masing-masing *excavator* mendapat 5 unit *dump truck*. Sedangkan dengan metode antrian dan metode *linear programming* 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 5.1 di bawah ini. Dengan demikian maka perhitungan simulasi dapat mengurangi jumlah *dump truck* yang semula secara aktual berjumlah total 27 unit. Jika dengan metode *match factor* dapat mengurangi *dump truck* sebanyak 2 unit, sedangkan dengan metode antrian dan *linear programming* dapat mengurangi *dump truck* 1 unit. Dengan demikian 1 unit dapat dialokasikan ke area kerja lain yang lebih membutuhkan.

Tabel 5.1 Perbandingan Jumlah *Dump Truck*

<i>Excavator</i>	Jumlah <i>Dump Truck</i> (unit)			
	Aktual	Metode <i>Match Factor</i>	Metode Antrian	Metode <i>Linear Programming</i>
EX 425	6	5	6	6
EX 429	5	5	5	5
EX 430	6	5	5	5
EX 431	5	5	5	5
EX 432	5	5	5	5
TOTAL	27	25	26	26

Sumber : Pengolahan Data, 2016

Faktor yang berpengaruh dalam perencanaan kebutuhan jumlah *dump truck* adalah sebagai berikut :

1. Produktivitas *excavator*

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* (*digging time, swing load time, passing time, swing empty time*)
- efisiensi kerja (terkait kondisi area kerja, keterampilan operator, kesulitan operasional, faktor alam)
- faktor isian *bucket* (terkait besar kecilnya ukuran material, banyak sedikitnya kadar air)
- dan kapasitas *bucket* (terkait spesifikasi unit asal atau modifikasi)

2. Produktivitas *dump truck*

Produktivitas *dump truck* ini 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 makin rendah produktivitas *dump truck* maka makin banyak jumlah *dump truck* yang dibutuhkan.

3. Kondisi *excavator* dan *dump truck*

Kondisi yang dimaksud adalah status ketersediaan *excavator* dan *dump truck* untuk siap kerja / *ready*, karena unit yang berstatus *ready* yang akan digunakan untuk perhitungan simulasi optimasi.

4. Jumlah Alat Muat / *Excavator*

Jumlah aktual *excavator* berpengaruh terhadap jumlah *dump truck* yang melayaninya untuk menentukan persebaran masing-masing *dump truck* dengan jumlah yang terbatas.

5. Jumlah Alat Angkut / *Dump Truck*

Jumlah aktual *dump truck* berpengaruh dalam optimasi alokasi *dump truck* yang terbatas.

5.1.2. 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 5.2a. Berdasarkan tabel tersebut dapat dilihat bahwa hitungan semua metode sama dengan hasil 233 BCM per Jam dimana produksi ini sudah di atas target yang ditentukan yaitu sebesar 230 BCM per jam.

Tabel 5.2a Perbandingan Produktivitas Tiap *Dump Truck*

<i>Excavator</i>	Total Produktivitas <i>Dump Truck</i> (BCM / Jam)			
	Target Produksi	Match Factor	Metode Antrian	Metode Linear Programming
EX 425	48	42	42	42
EX 429	48	51	51	51
EX 430	48	44	44	44
EX 431	48	48	48	48
EX 432	48	48	48	48
TOTAL	240	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 5.2a di bawah ini. Berdasarkan tabel tersebut dapat dilihat bahwa total volume produksi yang mendekati target produksi per jam sebesar 1200 BCM per jam adalah perhitungan dengan metode antrian dan *linear programming* yaitu sebesar 1.208 BCM per jam. Untuk volume produksi dengan metode *match factor* tidak mencapai target. Apabila dibandingkan dengan aktual sebelumnya produksi naik 1 BCM per jam, dari 1.207 BCM per jam menjadi 1.208 BCM per jam.

Tabel 5.2b Perbandingan Volume Produksi Total *Dump Truck*

<i>Excavator</i>	Total Produksi <i>Dump Truck</i> (BCM / Jam)				
	Target Produksi	Aktual	Metode <i>Match Factor</i>	Metode Antrian	Metode <i>Linear Programming</i>
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

Faktor yang berpengaruh dalam produksi yang optimal adalah sebagai berikut :

1. *Cycle time excavator*

Cycle time excavator ini berpengaruh langsung terhadap perhitungan produksi excavator. *Cycle time excavator* ini dipengaruhi oleh :

- *digging time* (terkait jenis material dan kekerasan material)
- *swing load time* (terkait kemampuan mekanis mesin dan posisi dengan DT)
- *passing time* (terkait kemampuan mekanis mesin)
- *swing empty time* (terkait kemampuan mekanis mesin dan posisi dengan DT)

2. Efisiensi kerja

Efisiensi kerja dipengaruhi langsung oleh kondisi area kerja, kesulitan operasional, keterampilan operator dan faktor alam seperti area lumpur, tanah lunak, hujan dsb.

3. Faktor isian *bucket* (terkait besar kecilnya ukuran material, banyak sedikitnya kadar air)

4. Kapasitas *bucket* (terkait spesifikasi unit asal atau modifikasi)

5. *Cycle Time dump truck*

- *queueing time* (terkait dengan kendala di area kerja *excavator (front)* atau *matching factor* yang lebih dari 1)
- *spotting load time* (terkait kondisi jalan dekat area *front* saat manuver *dump truck*)
- *loading time* (terkait *cycle time excavator*)
- *hauling load time* (dipengaruhi jarak *front* dengan *disposal* dan kondisi jalan)
- *spotting dump time* (dipengaruhi kondisi disposal saat manuver *DT*)
- *dumping time* (dipengaruhi kemampuan mekanis mesin)
- *returning time* (dipengaruhi jarak *front* dengan *disposal* dan kondisi jalan)

6. Kondisi *excavator* dan *dump truck*

Kondisi yang dimaksud adalah status ketersediaan *excavator* dan *dump truck* untuk siap kerja / *ready*, karena unit yang berstatus *ready* yang akan digunakan untuk perhitungan simulasi optimasi.

5.1.3. 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 5.3. Berdasarkan hasil perbandingan dapat dilihat bahwa biaya paling efisien ditunjukkan dengan metode *linear programming* dan antrian yaitu sebesar 0.909 USD/BCM. Dengan demikian berdasarkan metode linear programming dan metode antrian 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.

Tabel 5.3 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 5.4 Perbandingan Biaya Produksi *Excavator / Loading Cost*

<i>Excavator</i>	<i>Loading 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	0.256	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 5.5 Perbandingan Biaya Produksi *Total Cost (Loading & Hauling)*

<i>Excavator</i>	<i>Total 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	0.933	1.017	1.010	0.962	0.962
EX 425	0.933	0.860	0.829	0.829	0.829
EX 425	0.933	0.943	0.968	0.968	0.968
EX 425	0.933	0.919	0.897	0.897	0.897
EX 425	0.933	0.933	0.892	0.892	0.892
TOTAL	0.933	0.935	0.919	0.909	0.909

(Sumber : Pengolahan Data, 2016)

Faktor yang berpengaruh dalam biaya produksi yang efisien adalah sebagai berikut :

1. Produktivitas *excavator*

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 (digging time, swing load time, passing time, swing empty time)*
- efisiensi kerja (terkait kondisi area kerja, kesulitan operasional, faktor alam)
- faktor isian *bucket* (terkait besar kecilnya ukuran material, banyak sedikitnya kadar air)
- dan kapasitas *bucket* (terkait spesifikasi unit asal atau modifikasi)

2. Produktivitas *dump truck*

Produktivitas *dump truck* ini 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 makin rendah produktivitas *dump truck* maka makin banyak jumlah *dump truck* yang dibutuhkan.

3. Biaya Alat *Excavator*

Biaya masing-masing alat *excavator* yang dihitung dalam satuan USD/Jam.

4. Biaya Alat *Dump Truck*

Biaya masing-masing alat *dump truck* yang dihitung dalam satuan USD/Jam.

Berdasarkan uraian pembahasan di atas, menunjukkan bahwa dengan metode antrian dan *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 antrian dan *linear programming* dapat memberikan hasil yang lebih baik dalam melakukan optimasi terhadap penggunaan alat angkut, sehingga metode antrian dan *linear programming* dapat dijadikan sebagai alternatif dalam menentukan jumlah alat angkut yang paling optimum untuk mencapai target produksi.

5.2. Perbandingan dengan Penelitian Sebelumnya

Penelitian sebelumnya melakukan optimalisasi produksi dengan cara :

1. Menghasilkan model simulasi dengan pendekatan *Linear programming* dan model antrian untuk meminimumkan biaya angkut dan biaya muat. (Ercelebi & Bascetin, 2009).
2. Penelitian dengan model simulasi yang menghasilkan kombinasi ideal antara *truck* dan *excavator* sehingga dapat menurunkan biaya produksi (Morley et. al, 2012).
3. Penggunaan metode *match factor* menghasilkan jumlah dan jenis alat yang digunakan secara tepat untuk mengurangi biaya produksi. (Burt & Cacceta, 2013).
4. Penggunaan metode antrian untuk melakukan perencanaan produksi dan siklus alat angkut untuk produksi yang optimal. (May, 2012).
5. Penggunaan metode OEE dan *match factor* untuk menentukan jumlah truk dan menurunkan biaya produksi. (Choudhary, 2015).

Perbedaan antara penelitian yang dilakukan saat ini dengan yang terdahulu yaitu (Ercelebl & Bascetin, 2009), (Morley et. al, 2012), (Burt & Cacceta, 2013) dan (May, 2012) adalah bahwa penelitian ini menggunakan perhitungan untuk menentukan jumlah alat angkut yang optimal, produksi optimal dan biaya minimal dengan menggunakan tiga metode sekaligus yaitu metode *match factor*, antrian dan *linear programming*. Alat bantu pengujian data dengan Minitab 16 dan IBM SPSS Statistics 20. Sedangkan alat bantu pengolahan data dengan program Excel dan *POM for Windows*. Perbandingan penelitian ini dengan peneliti terdahulu dapat dilihat pada Tabel 5.6.

5.3 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 perusahaan dapat menerapkan hasil penelitian ini dalam operasional yaitu dengan melakukan penentuan jumlah *dump truck* yang optimal tiap masing-masing *excavator* dengan metode *match factor*, antrian dan *linear programming* yang disimulasikan pada perencanaan produksi setiap bulan, mingguan maupun harian. Perencanaan produksi tersebut dapat dijadikan panduan bagi operasional dalam peningkatan produksi dengan biaya yang minimal. Dengan demikian target produksi dapat tercapai dan biaya produksi yang dihasilkan seminimal mungkin.

5.4 Keterbatasan Penelitian

Penelitian yang dilakukan masih terdapat keterbatasan seperti :

1. PT RML memiliki 4 (empat) lokasi kerja yaitu di Rantau, Embalut, Melak dan Krassi, dimana penelitian ini terbatas di site Embalut, Kalimantan Timur. Optimalisasi dapat dilakukan juga di lokasi kerja yang lain sehingga dapat memberikan dampak yang positif secara keseluruhan bagi perusahaan.
2. Kondisi cuaca yang tidak dapat diprediksi sehingga mengakibatkan kendala pada saat pengambilan data di lapangan.
3. Faktor keamanan dan keselamatan kerja sangat diperhitungkan, sehingga proses pengambilan data dilakukan dengan hati-hati.

Tabel 5.6 Perbandingan dengan Penelitian Sebelumnya.

No.	Aspek	Variabel			
		Jumlah alat angkut	Produksi	Biaya Produksi	Waktu Tungg
1	Ade & Deshpand, 2012		√	√	
2	Adadzi, 2013			√	
3	Alkass, 2003	√	√	√	
4	Amankwah, 2011		√		
5	Bascetin & Ercelebl, 2009		√	√	√
6	Burt & Cacceta, 2013	√			
7	Cetin, 2004	√			√
8	Chadha, 2014				
9	Chinbat & Takakuwa, 2008		√		√
10	Choudhary, 2015	√		√	
11	Coronado. 2014	√		√	√
12	Costa, et al, 2012	√	√		
13	Doucette, 2013	√			
14	Frank & Franik, 2011	√	√	√	
15	Fu, 2013	√	√	√	
16	Klippel, et al, 2007		√	√	
17	Kumar, 2014	√	√	√	
18	Lashgari, 2010	√	√		
19	May, 2012	√			√
20	Mishra, 2013		√		
21	Morley, 2012			√	
22	Morley, 2013			√	
23	Nageshwaraniyer, 2013	√	√		
24	Nel, 2011	√	√	√	
25	Newman, 2010	√	√	√	
26	Palei, 2013		√	√	√
27	Ramazan & Dimitrakopoulos, 2014	√	√		
28	Sahoo, 2012	√	√		
29	Savic & Jankovic, 2006	√			
30	Shawki, et al, 2009		√		√
31	Tan, 2012	√		√	√
32	Penelitian Ini, 2016	√	√	√	√

Tabel 5.4 Perbandingan dengan Penelitian Sebelumnya. (lanjutan)

No.	Aspek	Pendekatan Penelitian			Teori Antrian	Metode
		Kuantitatif	Kualitatif	Match Factor		
1	Ade & Deshpand, 2012	√	√			
2	Adadzi, 2013	√				
3	Alkass, 2003	√			√	
4	Amankwah, 2011	√				√
5	Bascetin & Ercelebl, 2009	√			√	√
6	Burt & Cacceta, 2013	√		√		
7	Cetin, 2004	√			√	√
8	Chadha, 2014	√				
9	Chinbat & Takakuwa, 2008	√				
10	Choudhary, 2015	√		√		
11	Coronado. 2014	√			√	√
12	Costa, et al, 2012	√				√
13	Doucette, 2013	√			√	
14	Frank & Franik, 2011	√				√
15	Fu, 2013	√				√
16	Klippel, et al, 2007	√	√			√
17	Kumar, 2014	√				√
18	Lashgari, 2010	√			√	
19	May, 2012	√			√	
20	Mishra, 2013	√				
21	Morley, 2012	√		√		√
22	Morley, 2013	√				√
23	Nageshwaraniyer, 2013	√		√		√
24	Nel, 2011	√		√		√
25	Newman, 2010	√				√
26	Palei, 2013				√	
27	Ramazan & Dimitrakopoulos, 2014	√				√
28	Sahoo, 2012	√			√	√
29	Savic & Jankovic, 2006	√				√
30	Shawki, et al, 2009	√				√
31	Tan, 2012	√				√
32	Penelitian Ini, 2016	√		√	√	√

Tabel 5.4 Perbandingan dengan Penelitian Sebelumnya. (lanjutan)

No.	Aspek	Software / Tools						
		<i>Excel</i>	<i>Arena</i>	<i>Lindo</i>	Mini Tab	Mat Lab	POM QM	Talpac
1	Ade & Deshpand, 2012							
2	Adadzi, 2013							
3	Alkass, 2003							
4	Amankwah, 2011							
5	Bascetin & Ercelebl, 2009							
6	Burt & Cacceta, 2013							
7	Cetin, 2004		v		v			
8	Chadha, 2014	v						
9	Chinbat & Takakuwa, 2008				v			
10	Choudhary, 2015							
11	Coronado, 2014			v				
12	Costa, et al, 2012							
13	Doucette, 2013							
14	Frank & Franik, 2011	v						
15	Fu, 2013	v						
16	Klippel, et al, 2007							
17	Kumar, 2014	v						
18	Lashgari, 2010							
19	May, 2012	v						
20	Mishra, 2013							
21	Morley, 2012					v		
22	Morley, 2013					v		
23	Nageshwaraniyer, 2013							
24	Nel, 2011							
25	Newman, 2010							
26	Palei, 2013					v		
27	Ramazan & Dimitrakopoulos, 2014							
28	Sahoo, 2012							v
29	Savic & Jankovic, 2006							
30	Shawki, et al, 2009					v		
31	Tan, 2012							
32	Penelitian Ini, 2016	v			v		v	

BAB VI

KESIMPULAN DAN SARAN

6.1 Kesimpulan

Kesimpulan yang dapat diambil pada penelitian ini antara lain :

- a. Jumlah *dump truck* optimal dengan metode *match factor* untuk masing-masing *excavator* adalah 25 unit, dengan metode antrian 26 unit, dan dengan metode *linear programming* 26 unit.
- b. Produksi yang optimal untuk pemindahan material *overburden* berdasarkan metode *match factor* adalah 1.166 BCM/Jam. Produksi optimal berdasarkan metode antrian adalah 1.208 BCM/Jam. Produksi optimal 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. Dimana angka tersebut yang paling sesuai dengan target produksi yaitu 1.200 BCM/Jam.
- c. Biaya produksi yang efisien untuk pemindahan material *overburden* berdasarkan metode *match factor* adalah 0.919 USD/BCM. Biaya produksi efisien berdasarkan metode antrian adalah 0.909 USD/BCM. Biaya produksi efisien berdasarkan metode *linear programming* adalah 0.909 USD/BCM. Dengan demikian biaya produksi yang efisien dengan metode *linear programming* dengan 0.909 USD/BCM. Dimana angka tersebut masih di bawah target biaya produksi yaitu 0.933 USD/BCM.

6.2 Saran

- a. Dalam penelitian berikutnya diharapkan simulasi dapat mempertimbangkan unit pendukung lainnya seperti *dozer* dan *grader* sehingga optimasi produksi bisa tercapai lebih baik lagi.
- b. Perlu dilakukan juga dengan metode simulasi dalam riset operasi lainnya seperti metode transportasi, *integer programming* atau metode lain yang terkait dengan optimasi produksi khususnya di dunia pertambangan.
- c. Sedangkan untuk *software* lain yang dapat digunakan seperti *Lindo*, *Arena*, *Talpac*, dll.

DAFTAR PUSTAKA

- 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.
- Ali, M.A. (2014). Analisis Optimalisasi Pelayanan Konsumen Berdasarkan Teori Antrian pada Kaltim GPS.Com di Samarinda. *Jurnal Ilmu Administrasi Bisnis*. Universitas Mulawarman. Samarinda. 2 (3), 346-357.
- 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*. 78-83. Concordia University, Montreal. Canada.
- APBI. (2012). *Industri Pertambangan Batubara Indonesia*. <http://www.apbi-icma.org>. 15 Oktober 2015.
- Arikunto, S (2010). *Prosedur Penelitian Suatu Pendekatan Praktek*, Jakarta: Penerbit Rineka Cipta.
- Assauri, S. (2008). *Manajemen Produksi dan Operasi*. Jakarta: Lembaga Penerbit FEUI.
- Aykul, H. (2007). Equipment Selection for High Selective Excavation Surface Coal Mining. *The Journal of The Southern African Institute of Mining and Metalurgy*. 107, 72-85.

- Basuki, S. dan Nurhakim (2004). *Modul Ajar dan Praktikum Pindahkan Tanah Mekanis*, Program Studi Teknik Pertambangan Universitas Lambung Mangkurat, Banjarbaru.
- Bascetin, A. & Ercelebi, S. G. (2009). *Optimization of Shovel-Truck System for Surface Mining*. Journal of The Southern African Institute of Mining & Metallurgy. 109. 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, Necmettin. (2004). *Open Pit Truck / Shovel Haulage System Simulation*. Thesis. Graduate School Of Natural and Applied Science of Middle East Technical University. Ankara.
- Chinbat, U. & Takakuwa, S. (2008). Using Operation Process Simulation for A Six Sigma Project Of Mining and Iron Production Factory. *Proceeding of the 2008 Winter Simulation Conference*, 2431-2438 Nagoya University. Nagoya. Japan.
- Christian, S. (2013). Penerapan Linear Programming untuk Mengoptimalkan Jumlah Produksi dalam Memperoleh Keuntungan Maksimal pada CV Cipta Unggul Pratama. *Journal The Winner*. 14, 55-60.
- Darmansyah, N (1998). *Pemindahan Tanah Mekanis dan Alat Berat*, Cetakan I, Palembang : Penerbit Universitas Sriwijaya.
- Deshpand, V.S & Ade, M. (2012). Lean Manufacturing And Productivity Improvement In Coal Mining. *International Journal of Scientific & Technology Research* 1 (5), 11-14.
- Dimiyati, T.T. dan Dimiyati, A. (1992). *Operations Research*, Jakarta : Penerbit Sinar Baru Algesindo.
- Doucette, J., Chung, H., & Ingoslfsson, A. (2013). *A Linear Model for Surface Mining Haul Truck Allocation Incorporating Shovel Idle Probabilities*. Proceeding University of Alberta. 1-14. Canada : University of Alberta.
- Direktorat Minerba. (2015). *Harga Batubara Acuan*. Kementrian ESDM RI. Jakarta.

- Dwijanto. 2008. *Program Linear Berbantu Komputer: Lindo, Lingo dan Solver*. Semarang: UNNES Press.
- Engineering PT RML. (2015). *Monthly Report Jobsite KTD September 2015*. Samarinda. Tidak dipublikasikan.
- Fahmi, I. (2014). *Manajemen Produksi dan Operasi*. Bandung: Alfabeta.
- Franik, Ewa & Franik, Tadeusz. (2009). *Application of Non Linear Programming for Optimizaton of Factors of Production in Mining Industry*. Alcon Pharmaceutical Ltd anovartis Company. Fribourg.
- Heizer, J & Render, B (2009). *Manajemen Operasi*. Jakarta : Salemba Empat..
- Hidayat, L & Salim, S. (2013). Analisis Biaya Produksi Dalam Meningkatkan Profitabilitas Perusahaan. *Jurnal Ilmiah Manajemen Kesatuan 2013*. 1(2),160-168.
- 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 Metalurgy*. 112, 477-484.
- Kemenkumham. (2009). UU No. 4 Tahun 2009. Kementrian Hukum dan HAM. Jakarta.
- Kementrian ESDM. (2015). *Peranan Sektor Pertambangan Dalam Mendorong Perekonomian Nasional*. Jakarta. <http://www.esdm.go.id>. 18 November 2015.
- Kumar, A. (2014). *Production Schedulling and Mine Fleet Assignment Using Integer Programming*. Thesis. Department of Mining Engineering. National Institute of Technology Rourkela.
- Kusnandar, D. et al. (2014). *Ukuran Sampel dan Distribusi Sampling Dari Beberapa Variabel Random Kontinyu*. Buletin Ilmiah Mat, Stat dan Terapannya. 3. 1-6.
- Komatsu. (2007). *PC 400-8R Hydraulic Excavator*. www.komatsu.com. 10 Oktober 2015.
- Komatsu. (2009). *Specification and Aplication Handbook* , 30th Edition, Komatsu Ltd. Japan.
- Lashgari, A., Yazdani, A, & Sayadi, A (2010). Methods for Equipments Selection in Surface Mining : Review. *The 1st International Applied Geological Congress*. 1706-1711 .Department of Geology, Islamic Azad University. Iran.

- Lind, G.H. (2001). Activity Based Costing L Challenging The Way We Cost Underground Coal Mining Systems. *The Journal of The Southern African Institute of Mining and Metalurgy March-April 2001*. 789-797
- 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 Metalurgy August 2015*. 789-797.
- Nel, S., Kizil, M, & Knights, P. (2011). Improving Truck Shovel Matching. *Apcom Symposium 35th. Wollongong. 381-391*. Wollongong, New Sout Wales : Wollongong University.
- Newman, A., Rubio, E., & Eurek, K. (2010). A Review of Operations Reserarch in Mine Planning. *Journal Interface. 40. 222-245*
- May, M. (2012). Application of Queuing Theory for Open Pit Truck/Shovel Haulage Systems. *Thesis*. Virginia Polytechnic Institute and State University. Blacksburg.
- Kemenkumham RI. (2009). *UU No. 4 Tahun 2009 Tentang Pertambangan Mineral dan Batubara*. Kemenkumham RI. Jakarta.
- 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, Lu, 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 & Environtmental Engineering. Canada : University of Alberta..
- Nasendi, B & Anwar, A. 1985. *Program Linier dan Variasinya*. Jakarta: PT. Gramedia.
- Noor, I. (2011). Analisa Penentuan Waktu Baku untuk Mempersingkat Proses Pelayanan Bongkar Muat di Pelabuhan Trisakti Banjarmasin. *Jurnal INTEKNA*. Tahun XI. 2. 171-177.
- Nurchotimah, S. (2009). Aplikasi Program Solver Dalam Penyelesaian Masalah Optimasi Berdasarkan Peramalan Dengan Metode Trend Musiman Pada Perusahaan Krupuk Udang Sinar Jaya Brebes. *Skripsi*. Fakultas MIPA Universitas Negeri Semarang. Semarang.

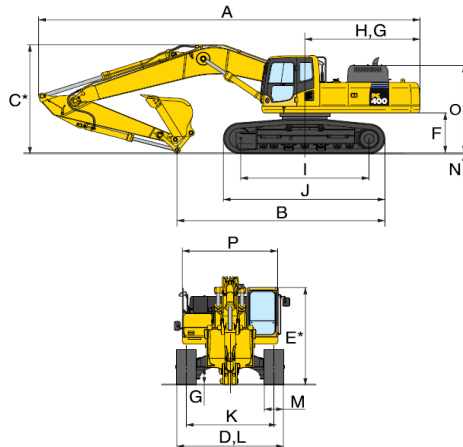
- Coronado, V. (2014). Optimization of The Haulage Cycle Model for Open Pit Mining Using A Discrete Event Simulator and A Context Based Alert. *Thesis*. Department of Mining Geological and Geophysical Engineering. The University of Arizona. Arizona.
- Peurifoy, R. (1979). *Construction Planning, Equipment, and Method*, Third Edition, London : Mc Graw Hill International Book Company.
- Poerwadarminta, W. (2003). *Kamus Umum Bahasa Indonesia*. Jakarta: Balai Pustaka.
- Prodjosumarto, P. (1993). *Pemindahan Tanah Mekanis*. Bandung : Jurusan Teknik Pertambangan, Institut Teknologi Bandung.
- 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*. 96-103
- Shawki, K., Elrazek, A., & Abdulla, N. (2009). Earthmoving Productivity Estimation Using Genetic Algorithm. *Journal of Engineering Sciences. Assiut University*. 37, 593-604.
- Soekartawi. 1995. *Linear Programming dan Aplikasinya Khususnya dalam Bidang Pertanian*. Jakarta: PT. Raja Grafindo Persada.
- Sudjana. (1996). *Metode Statistika. Edisi Ke-6*. Bandung : Penerbit Tarsito.
- 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.
- Sugiyono. (2012). *Metodologi Penelitian Kualitatif dan R & D*. Bandung : Alfabeta.
- Suryadharma, H. dan Wigroho, H. (1998). *Alat-alat Berat*. Yogyakarta: Penerbitan Universitas Atma Jaya.
- Suwandhi, A. (2004). *Optimasi Alat Penambangan*. Bandung : Sekolah Tinggi Teknologi Mineral Indonesia

Tokyo, Carmichael D.G.(1987). *Engineering Queues In Construction and Mining*.
New York: John Willey and Sons.

Volvo. (2010). *Volvo FM 370 Handbook*, www.volvotrucks.volvo.co.id. 15
September 2015

Wigroho, H. & Suryadharma, H. (1992). *Pemindahan Tanah Mekanis Bagian I*,
Yogyakarta : Penerbitan Universitas Atma Jaya.

Lampiran A. SPESIFIKASI EXCAVATOR KOMATSU PC 400-8



Gambar A.1 Tampak samping dan depan unit PC 400-8
(Sumber : Komatsu ,2007)

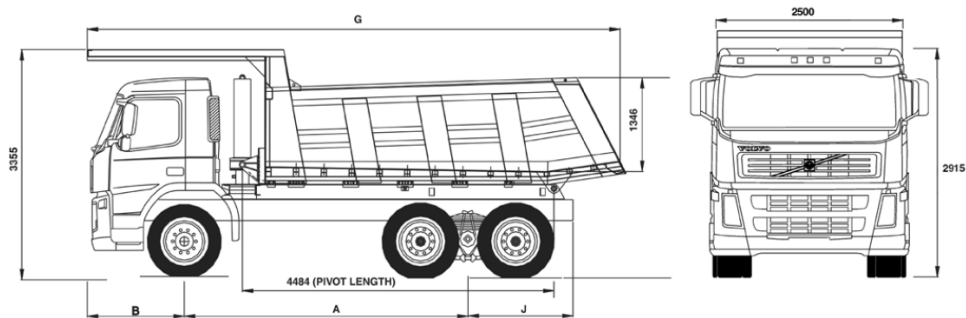
Tabel A.1 Tabel Dimensi PC 400-8

	Arm Length	2400 mm 7'10"	2900 mm 9'6"	3380 mm 11'1"	4000 mm 13'1"
A	Overall length	11905 mm 39'1"	11995 mm 39'4"	11940 mm 39'2"	11950 mm 39'2"
B	Length on ground (transport): PC400-8 PC400LC-8	8230 mm 27'0" 8410 mm 27'7"	7290 mm 23'11" 7475 mm 24'6"	6540 mm 21'5" 6705 mm 22'0"	6145 mm 20'2" 6330 mm 20'9"
C	Overall height (to top of boom)*	3850 mm 12'8"	3745 mm 12'3"	3635 mm 11'11"	3885 mm 12'9"

	Model	PC400-8		PC400LC-8	
D	Overall width	3430 mm	11'3"	3440 mm	11'3"
E	Overall height (to top of cab)*	3285 mm	10'9"	3285 mm	10'9"
F	Ground clearance, counterweight	1320 mm	4'4"	1320 mm	4'4"
G	Ground clearance (minimum)	555 mm	1'10"	550 mm	1'10"
H	Tail swing radius	3645 mm	12'0"	3645 mm	12'0"
I	Track length on ground	4020 mm	13'2"	4350 mm	14'3"
J	Track length	5055 mm	16'7"	5385 mm	17'8"
K	Track gauge	2740 mm	9'0"	2740 mm	9'0"
L	Width of crawler	3340 mm	11'0"	3440 mm	11'3"
M	Shoe width	600 mm	24"	700 mm	28"
N	Grouser height	37 mm	1.5"	37 mm	1.5"
O	Machine cab height	2920 mm	9'7"	2920 mm	9'7"
P	Machine cab width**	3090 mm	10'2"	3090 mm	10'2"
Q	Distance, swing center to rear end	3605 mm	11'10"	3605 mm	11'10"

(Sumber : Komatsu ,2007)

Lampiran B. SPESIFIKASI ALAT ANGKUT DT VOLVO FM 370



Dimensions, mm – as per IS 9435

A, wheelbase (centre of the front axle of centreline of the bogie)	4085
G, overall length	7670
Width	2500
B, Front overhang	1360
J, rear overhang	825
Front bumper-to-rear edge of cab	1810
Front track	1996
Rear track	1890
Turning circle diameter	16000
Width over side member	850
Height, ground-to-top of cab	2915
Pivot length	4484
Minimum ground clearance	355

2). Spesifikasi Mesin

Hydraulics

- Hyva make, heavy-duty front mounted 4-stage telescopic tip cylinder
- Direct-mounted hydraulic pump on P.T.O.
- Oil tank capacity 95 litres
- Oil tank with breather filter and returnline filter
- Oil level indicator on the tank

Optional fitments

- Spare-wheel carrier

Body capacity

Struck volume 14 cu.m

Body dimensions

Length 5100 mm
Width 2400 mm
Height 1345 mm

Note: Selection of body capacity is based on the density of material

(Sumber : Volvo, 2010)

Lampiran C. CYCLE TIME EXCAVATOR

Tempat Pengamatan : PIT GSB 01, Job Site KTD

Tanggal Pengamatan : 09 November 2015

Jam Pengamatan : 08.00 WITA

No. Unit Excavator : EX 425

DATA UNIT EXCAVATOR

Jenis *Excavator* : KOMATSU PC 400-8

Kapasitas *Excavator* : 2.0 BCM

Jumlah Pengisian : 6 BUCKET

Jumlah Alat : 1

Efisiensi Unit : 75 %

DATA DUMP TRUCK

Jenis *Dump Truck* : DT VOLVO FM 370

Kapasitas *Dump Truck* : 10.80 BCM

Jumlah *Dump Truck* : 6

Jarak *Front ke Disposol* : 1800 m

Efisiensi Unit : 75 %

No	<i>Digging</i> (detik)	<i>Swing Load</i> (detik)	<i>Passing</i> (detik)	<i>Swing Empty</i> (detik)	<i>Total</i> (detik)	Keseragaman data	Normalitas data
1	7.66	5.11	4.47	4.08	21.32	seragam	normal
2	7.90	5.09	4.18	4.77	21.94	seragam	normal
3	6.85	4.70	5.76	3.79	21.10	seragam	normal
4	5.51	4.51	4.55	6.11	20.68	seragam	normal
5	6.70	3.87	4.27	5.60	20.44	seragam	normal
6	7.09	4.12	4.91	5.71	21.83	seragam	normal
7	6.68	5.06	4.85	4.67	21.26	seragam	normal
8	5.59	4.89	5.80	4.87	21.15	seragam	normal
9	7.43	4.99	4.02	4.70	21.14	seragam	normal
10	4.51	4.56	4.93	6.49	20.49	seragam	normal
11	5.01	4.55	6.16	5.60	21.32	seragam	normal
12	5.67	4.60	5.02	5.71	21.00	seragam	normal
13	5.59	5.51	4.47	5.80	21.37	seragam	normal
14	6.10	4.86	4.95	6.25	22.16	seragam	normal
15	5.56	4.56	6.09	5.15	21.36	seragam	normal
16	4.42	4.63	6.35	5.92	21.32	seragam	normal
17	3.89	4.85	6.68	5.69	21.11	seragam	normal
18	4.01	6.01	5.00	6.21	21.23	seragam	normal
19	4.05	5.51	4.86	6.87	21.29	seragam	normal
20	5.60	5.55	4.28	5.00	20.43	seragam	normal
21	5.95	4.86	3.53	6.89	21.23	seragam	normal
22	3.67	4.55	4.20	8.18	20.60	seragam	normal
23	3.58	4.65	5.10	7.36	20.69	seragam	normal
24	4.05	4.86	5.46	6.76	21.13	seragam	normal
25	6.78	4.51	4.77	4.69	20.75	seragam	normal
26	7.08	3.81	3.96	6.14	20.99	seragam	normal
27	5.53	5.99	4.15	5.43	21.10	seragam	normal
28	8.45	3.65	4.17	4.52	20.79	seragam	normal
29	8.05	4.88	4.78	3.20	20.91	seragam	normal
30	6.95	4.90	5.11	4.50	21.46	seragam	normal
31	6.05	4.62	5.67	4.43	20.77	seragam	normal
32	6.97	4.58	5.10	5.12	21.77	seragam	normal
33	6.92	4.30	4.97	5.32	21.51	seragam	normal
34	5.68	3.93	5.31	5.61	20.53	seragam	normal
35	6.10	4.59	4.49	5.15	20.33	seragam	normal

36	6.56	5.56	4.43	4.16	20.71	seragam	normal
37	4.41	7.14	5.68	4.15	21.38	seragam	normal
38	5.51	4.91	5.62	5.15	21.19	seragam	normal
39	4.24	5.01	3.96	7.08	20.29	seragam	normal
40	6.16	4.91	5.00	5.01	21.08	seragam	normal
41	5.30	4.28	5.36	6.26	21.20	seragam	normal
42	4.81	3.62	6.10	6.87	21.40	seragam	normal
43	7.17	3.75	3.79	6.34	21.05	seragam	normal
44	6.89	5.35	4.18	5.26	21.68	seragam	normal
45	6.77	4.55	4.85	5.40	21.57	seragam	normal
46	3.65	4.94	4.95	7.44	20.98	seragam	normal
47	4.40	5.10	5.00	6.10	20.60	seragam	normal
48	5.68	3.95	4.86	6.12	20.61	seragam	normal
49	4.10	6.39	5.68	5.15	21.32	seragam	normal
50	5.67	5.51	4.43	5.52	21.13	seragam	normal
51	4.42	4.85	5.62	6.36	21.25	seragam	normal
52	5.05	5.60	3.96	6.14	20.75	seragam	normal
53	4.51	6.39	5.00	5.00	20.90	seragam	normal
54	6.16	4.58	4.77	4.52	20.03	seragam	normal
55	6.92	4.90	4.58	4.65	21.05	seragam	normal
56	5.81	5.55	4.68	5.61	21.65	seragam	normal
57	5.42	6.28	4.78	5.00	21.48	seragam	normal
58	5.10	4.86	5.36	5.69	21.01	seragam	normal
59	4.05	5.01	5.43	6.12	20.61	seragam	normal
60	5.81	5.28	4.96	5.00	21.05	seragam	normal
61	6.16	5.60	4.95	4.43	21.14	seragam	normal
62	5.81	4.65	5.54	5.10	21.10	seragam	normal
63	6.46	4.59	4.85	5.61	21.51	seragam	normal
64	6.40	5.03	4.52	5.03	20.98	seragam	normal
65	7.10	4.59	4.49	5.15	21.33	seragam	normal
66	6.56	5.56	4.43	4.16	20.71	seragam	normal
67	4.41	7.14	5.68	4.15	21.38	seragam	normal
68	5.51	4.91	5.62	5.15	21.19	seragam	normal
69	5.24	5.01	3.96	7.08	21.29	seragam	normal
70	6.16	4.91	5.00	5.01	21.08	seragam	normal
71	7.01	4.28	5.36	4.26	20.91	seragam	normal
72	5.17	3.75	5.79	6.34	21.05	seragam	normal
73	6.89	5.35	5.18	4.26	21.68	seragam	normal
74	6.77	4.55	5.85	4.48	21.65	seragam	normal
75	3.65	4.94	4.95	7.44	20.98	seragam	normal
76	4.40	5.10	5.77	6.10	21.37	seragam	normal
77	6.16	3.95	4.86	6.12	21.09	seragam	normal
78	4.60	6.39	4.68	5.15	20.82	seragam	normal
79	6.05	5.51	4.43	5.15	21.14	seragam	normal
80	6.90	5.09	4.18	4.77	20.94	seragam	normal

81	4.05	6.07	5.76	5.60	21.48	seragam	normal
82	5.91	4.51	4.55	6.11	21.08	seragam	normal
83	6.42	3.87	4.27	6.30	20.86	seragam	normal
84	7.09	4.12	4.91	5.71	21.83	seragam	normal
85	6.68	5.06	4.85	4.67	21.26	seragam	normal
86	5.59	4.89	5.80	4.87	21.15	seragam	normal
87	7.43	4.99	4.02	4.70	21.14	seragam	normal
88	5.51	4.56	4.93	5.49	20.49	seragam	normal
89	6.01	4.55	5.16	5.60	21.32	seragam	normal
90	4.70	6.60	5.02	5.71	22.03	seragam	normal
91	5.59	5.51	4.47	5.80	21.37	seragam	normal
92	4.51	5.93	4.95	6.25	21.64	seragam	normal
93	5.68	3.95	4.86	6.12	20.61	seragam	normal
94	3.67	6.39	5.68	5.15	20.89	seragam	normal
95	5.01	6.17	4.87	5.15	21.20	seragam	normal
96	6.90	5.09	4.18	4.77	20.94	seragam	normal
97	4.05	7.47	4.76	4.79	21.07	seragam	normal
98	4.51	4.51	4.55	8.11	21.68	seragam	normal
99	6.35	4.56	4.74	4.70	20.35	seragam	normal
100	6.40	5.37	4.29	5.23	21.29	seragam	normal
101	7.66	5.11	4.97	4.08	21.82	seragam	normal
102	6.90	5.09	4.58	4.77	21.34	seragam	normal
103	6.85	4.70	5.76	3.79	21.10	seragam	normal
104	4.51	4.51	4.55	8.11	21.68	seragam	normal
105	6.70	3.87	4.27	6.60	21.44	seragam	normal
106	7.09	4.12	4.91	5.34	21.46	seragam	normal
107	6.68	5.06	4.85	4.67	21.26	seragam	normal
108	5.59	4.89	5.80	4.87	21.15	seragam	normal
109	6.43	4.99	4.88	4.70	21.00	seragam	normal
110	6.51	4.56	4.93	5.49	21.49	seragam	normal
111	6.01	4.55	5.16	5.60	21.32	seragam	normal
112	3.67	6.60	5.02	5.71	21.00	seragam	normal
113	5.59	5.51	4.47	5.80	21.37	seragam	normal
114	6.10	4.86	4.95	5.25	21.16	seragam	normal
115	5.56	4.56	7.09	5.15	22.36	seragam	normal
116	4.42	4.63	6.35	5.92	21.32	seragam	normal
117	3.89	4.85	6.68	5.69	21.11	seragam	normal
118	4.01	6.01	5.00	5.21	20.23	seragam	normal
119	6.05	5.51	4.86	4.87	21.29	seragam	normal
120	5.60	5.55	4.28	5.00	20.43	seragam	normal
121	6.95	4.86	3.53	5.89	21.23	seragam	normal
122	3.67	4.55	4.90	8.18	21.30	seragam	normal
123	3.58	5.38	5.10	7.36	21.42	seragam	normal
124	4.05	4.86	5.46	6.76	21.13	seragam	normal
125	6.78	4.51	4.77	4.69	20.75	seragam	normal
126	7.08	3.81	3.96	6.14	20.99	seragam	normal
127	5.53	6.39	4.13	5.43	21.48	seragam	normal
128	8.05	4.65	4.17	4.52	21.39	seragam	normal
129	8.05	4.88	4.78	3.20	20.91	seragam	normal
130	6.95	4.90	5.11	4.50	21.46	seragam	normal

131	4.05	4.62	5.67	6.43	20.77	seragam	normal
132	6.97	4.58	5.10	5.12	21.77	seragam	normal
133	7.42	4.30	4.97	5.12	21.81	seragam	normal
134	5.68	3.93	5.31	5.61	20.53	seragam	normal
135	6.10	5.38	4.49	5.15	21.12	seragam	normal
136	6.56	5.56	4.43	4.16	20.71	seragam	normal
137	4.41	7.14	5.68	4.15	21.38	seragam	normal
138	4.51	4.91	5.62	7.15	22.19	seragam	normal
139	6.24	5.01	3.96	6.08	21.29	seragam	normal
140	6.16	4.91	5.00	5.01	21.08	seragam	normal
141	5.30	4.28	5.36	6.26	21.20	seragam	normal
142	5.81	3.95	5.10	5.87	20.73	seragam	normal
143	5.17	4.15	4.79	7.34	21.45	seragam	normal
144	6.89	5.35	4.18	5.26	21.68	seragam	normal
145	6.77	4.55	4.85	5.40	21.57	seragam	normal
146	3.65	4.94	4.95	7.44	20.98	seragam	normal
147	4.40	5.10	5.00	6.10	20.60	seragam	normal
148	5.68	3.95	4.86	7.12	21.61	seragam	normal
149	4.10	6.39	5.68	5.15	21.32	seragam	normal
150	4.26	5.51	4.43	7.15	21.35	seragam	normal
151	4.42	4.85	5.62	6.36	21.25	seragam	normal
152	5.05	5.60	3.96	6.14	20.75	seragam	normal
153	5.17	6.39	5.00	5.00	21.56	seragam	normal
154	6.16	5.05	4.77	4.52	20.50	seragam	normal
155	6.92	4.90	4.28	5.15	21.25	seragam	normal
156	4.81	5.55	5.68	5.61	21.65	seragam	normal
157	5.42	6.28	4.88	5.00	21.58	seragam	normal
158	5.10	5.86	5.36	5.18	21.50	seragam	normal
159	5.05	5.01	5.43	6.12	21.61	seragam	normal
160	5.81	4.28	4.96	5.00	20.05	seragam	normal
161	6.16	5.60	4.95	4.43	21.14	seragam	normal
162	5.60	4.65	5.18	6.10	21.53	seragam	normal
163	6.46	4.59	4.85	5.61	21.51	seragam	normal
164	6.40	5.27	4.92	5.03	21.62	seragam	normal
165	6.10	4.59	4.49	5.15	20.33	seragam	normal
166	6.56	5.56	4.43	4.16	20.71	seragam	normal
167	4.41	7.14	5.68	4.15	21.38	seragam	normal
168	5.51	4.91	5.62	5.15	21.19	seragam	normal
169	6.24	5.01	3.96	6.08	21.29	seragam	normal
170	6.16	4.91	5.00	5.01	21.08	seragam	normal

171	6.01	4.28	5.36	6.26	21.91	seragam	normal
172	5.17	4.75	4.59	7.34	21.85	seragam	normal
173	5.18	5.35	5.18	5.26	20.97	seragam	normal
174	4.77	5.00	5.85	5.48	21.10	seragam	normal
175	3.65	4.94	4.95	7.44	20.98	seragam	normal
176	4.40	5.40	5.60	6.10	21.50	seragam	normal
177	5.68	3.95	4.86	6.12	20.61	seragam	normal
178	4.60	6.39	4.68	5.15	20.82	seragam	normal
179	5.67	5.51	4.43	5.15	20.76	seragam	normal
180	7.90	5.09	4.18	4.67	21.84	seragam	normal
181	4.05	6.47	5.76	4.60	20.88	seragam	normal
182	5.91	4.51	4.55	6.11	21.08	seragam	normal
183	6.42	3.87	4.27	6.60	21.16	seragam	normal
184	6.09	4.12	4.91	5.71	20.83	seragam	normal
185	6.68	5.06	4.85	5.07	21.66	seragam	normal
186	5.59	4.89	5.80	4.87	21.15	seragam	normal
187	6.43	4.99	4.02	6.30	21.74	seragam	normal
188	6.05	4.56	4.93	6.49	22.03	seragam	normal
189	6.01	5.55	4.25	5.90	21.71	seragam	normal
190	4.70	5.60	5.05	5.71	21.06	seragam	normal
191	6.01	4.55	5.16	5.90	21.62	seragam	normal
192	5.70	4.60	5.02	5.71	21.03	seragam	normal
Rata-rata	5.70	5.01	4.94	5.53	21.18		

Lampiran D. CYCLE TIME DUMP TRUCK

Tempat Pengamatan : PIT GSB 01, Job Site KTD
 Tanggal Pengamatan : 09 November 2015
 Jam Pengamatan : 08.00 WITA
 No. Unit Alat Gali Muat : EX 425

DATA UNIT ALAT GALI MUAT

Jenis Alat Gali Muat : KOMATSU PC 400-8
 Kapasitas Alat Gali Muat : 2 BCM
 Jumlah Pengisian : 6 BUCKET
 Faktor Isian Bucket : 90 %
 Efisiensi Unit : 75 %

DATA ALAT ANGKUT

Jenis Alat Angkut : DT VOLVO FM 370
 Kapasitas Alat Angkut : 10.80 BCM
 Jumlah Alat Angkut : 5
 Jarak Front ke Disposasi : 1200 m
 Efisiensi Unit : 75 %

No.	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)
1	34.30	17.99	127.31	254.44	20.57	26.77	233.42	714.80	680.50	11.91	11.34
2	79.40	13.15	126.36	266.44	17.36	24.87	235.07	762.65	683.25	12.71	11.39
3	21.70	12.41	128.55	250.05	14.97	27.56	259.20	714.44	692.74	11.91	11.55
4	38.03	11.65	125.37	266.52	21.96	23.47	236.39	723.39	685.36	12.06	11.42
5	32.10	19.05	126.00	264.20	15.02	25.58	221.39	703.34	671.24	11.72	11.19
6	27.40	11.65	125.62	266.58	19.03	26.93	222.14	699.35	671.95	11.66	11.20
7	36.90	5.67	126.54	288.01	19.74	34.91	219.18	730.95	694.05	12.18	11.57
8	28.40	14.71	126.49	265.48	19.34	28.62	215.58	698.62	670.22	11.64	11.17
9	40.53	7.45	125.38	286.33	22.81	33.87	241.57	757.94	717.41	12.63	11.96
10	28.30	5.16	126.85	308.33	16.40	27.66	236.67	749.37	721.07	12.49	12.02
11	78.43	7.46	126.77	256.10	12.09	29.57	230.88	741.30	662.87	12.36	11.05
12	42.50	11.65	126.90	266.58	19.03	26.93	222.14	715.73	673.23	11.93	11.22
13	52.30	5.67	127.59	288.01	19.74	34.91	219.18	747.40	695.10	12.46	11.59
14	41.70	14.71	127.33	265.48	19.34	28.62	215.58	712.76	671.06	11.88	11.18
15	40.53	7.45	127.39	286.33	22.81	33.87	241.57	759.95	719.42	12.67	11.99
16	28.30	5.16	126.65	288.33	16.40	27.66	256.67	749.17	720.87	12.49	12.01
17	78.43	7.46	127.55	276.10	12.09	29.57	210.88	742.08	663.65	12.37	11.06
18	30.58	12.97	128.09	279.65	13.88	22.56	215.50	703.23	672.65	11.72	11.21
19	28.30	4.67	127.34	290.01	18.74	35.91	217.18	722.15	693.85	12.04	11.56
20	10.50	13.71	126.74	267.48	18.34	29.62	233.58	699.97	689.47	11.67	11.49
21	53.20	6.45	126.82	288.33	21.81	34.87	219.57	751.05	697.85	12.52	11.63
22	29.30	4.16	127.78	290.33	15.40	28.66	255.67	751.30	722.00	12.52	12.03
23	79.43	6.46	127.74	258.10	11.09	30.57	208.88	722.27	642.84	12.04	10.71
24	54.20	7.46	127.43	276.10	12.09	29.57	210.88	717.73	663.53	11.96	11.06
25	34.60	12.70	127.43	279.65	13.88	22.56	235.50	726.32	691.72	12.11	11.53
26	23.50	13.50	126.96	274.71	22.70	32.52	241.86	735.75	712.25	12.26	11.87
27	34.80	17.13	127.41	272.59	20.55	32.99	200.10	705.57	670.77	11.76	11.18
28	60.89	14.08	126.74	278.99	29.54	30.04	217.62	757.90	697.01	12.63	11.62
29	33.80	10.59	128.20	290.95	29.74	39.25	225.27	757.80	724.00	12.63	12.07
30	3.50	17.53	126.51	315.01	28.56	32.58	208.44	732.13	728.63	12.20	12.14
31	40.56	12.65	126.76	279.65	13.88	22.56	215.50	711.56	671.00	11.86	11.18
32	21.30	13.50	129.19	274.71	22.70	32.52	241.86	735.78	714.48	12.26	11.91
Total	1267.71	346.01	4065.8	8859.57	601.60	948.15	7264.9	23353.7	22086.03	389.23	368.10
Rata-rata	39.62	10.81	127.06	276.86	18.80	29.63	227.03	729.80	690.19	12.16	11.5031

Tempat Pengamatan : PIT GSB 01, Job Site Kitadin
Tanggal Pengamatan : 09 November 2015
Jam Pengamatan : 08.00 WITA
No. Unit Alat Gali Muat : EX 429

DATA UNIT ALAT GALI MUAT

Jenis Alat Gali Muat : KOMATSU PC 400-8
Kapasitas Alat Gali Muat : 2 BCM
Jumlah Pengisian : 6 BUCKET
Faktor Isian Bucket : 90 %
Efisiensi Unit : 75 %

DATA ALAT ANGKUT

Jenis Alat Angkut : DT VOLVO FM 370 & FM 380
Kapasitas Alat Angkut : 10.80 BCM
Jumlah Alat Angkut : 5
Jarak Front ke Disposasi : 1200 m
Efisiensi Unit : 75 %

No.	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)
1	0.00	25.57	125.17	187.26	27.19	38.72	187.70	591.61	591.61	9.86	9.86
2	48.46	11.60	125.31	203.01	25.55	42.65	142.50	599.08	550.62	9.98	9.18
3	30.27	11.22	125.21	229.32	23.24	44.92	140.23	604.41	574.14	10.07	9.57
4	0.00	12.37	122.91	219.88	21.18	55.60	136.68	568.62	568.62	9.48	9.48
5	0.00	11.53	125.94	244.26	20.29	50.78	147.77	600.57	600.57	10.01	10.01
6	0.00	17.72	121.06	232.51	19.67	33.99	140.52	565.47	565.47	9.42	9.42
7	0.00	19.51	120.67	249.76	22.14	33.78	123.05	568.91	568.91	9.48	9.48
8	0.00	14.44	120.10	216.18	23.81	34.03	145.45	554.01	554.01	9.23	9.23
9	80.06	23.52	119.92	197.09	25.66	39.59	140.03	625.87	545.81	10.43	9.10
10	23.21	21.10	122.81	208.42	24.75	23.16	149.35	572.80	549.59	9.55	9.16
11	81.18	13.11	123.44	189.44	21.08	30.79	157.65	616.69	535.51	10.28	8.93
12	0.00	11.53	123.74	244.26	20.29	50.78	147.77	598.37	598.37	9.97	9.97
13	0.00	17.72	122.20	232.51	21.67	33.99	140.52	568.61	568.61	9.48	9.48
14	50.10	21.60	120.20	199.50	24.60	39.59	140.03	595.62	545.52	9.93	9.09
15	0.00	21.10	123.16	218.42	24.75	23.16	149.35	559.94	559.94	9.33	9.33
16	11.20	13.11	124.61	199.44	21.08	30.79	162.93	563.16	551.96	9.39	9.20
17	0.00	11.53	123.43	244.26	20.29	50.78	148.61	598.90	598.90	9.98	9.98
18	0.00	17.72	124.06	232.51	19.67	33.99	139.79	567.74	567.74	9.46	9.46
19	0.00	29.51	120.89	228.76	22.14	33.78	123.05	558.13	558.13	9.30	9.30
20	0.00	14.24	124.56	216.18	23.81	35.20	145.45	559.44	559.44	9.32	9.32
21	80.06	13.52	119.44	197.09	25.66	40.20	140.03	616.00	535.94	10.27	8.93
22	23.21	11.10	124.00	226.42	24.75	22.70	150.03	582.21	559.00	9.70	9.32
23	81.18	13.11	119.41	199.44	21.08	30.79	157.65	622.66	541.48	10.38	9.02
24	57.77	11.96	118.98	202.22	23.50	37.75	142.72	594.90	537.13	9.92	8.95
25	0.00	17.01	123.52	239.59	34.64	55.59	148.75	619.10	619.10	10.32	10.32
26	0.00	18.90	122.25	224.25	24.85	57.45	147.56	595.26	595.26	9.92	9.92
27	0.00	16.22	126.14	226.60	23.15	47.85	142.18	582.14	582.14	9.70	9.70
28	0.00	12.37	121.76	219.88	21.18	55.60	136.68	567.47	567.47	9.46	9.46
29	0.00	11.53	123.70	244.26	20.29	50.78	147.77	598.33	598.33	9.97	9.97
30	0.00	10.87	120.16	217.52	22.39	50.22	144.66	565.82	565.82	9.43	9.43
31	0.00	17.72	121.19	222.51	19.67	33.99	140.52	555.60	555.60	9.26	9.26
32	47.90	11.18	123.65	231.80	21.17	33.16	150.54	619.40	571.50	10.32	9.53
33	68.51	12.16	124.47	227.50	23.30	35.39	151.59	642.92	574.41	10.72	9.57
34	32.31	15.00	125.23	217.34	18.62	29.46	153.92	591.88	559.57	9.86	9.33
35	43.22	7.54	124.79	217.18	21.33	28.80	150.32	593.18	549.96	9.89	9.17
Total	758.64	539.94	4298.10	7706.57	798.44	1369.80	5113.35	20584.84	19826.20	343.08	330.44
Rata-rata	21.68	15.43	122.80	220.19	22.81	39.14	146.10	588.14	566.46	9.80	9.44

Tempat Pengamatan : PIT GSB 01, Job Site KTD
 Tanggal Pengamatan : 09 November 2015
 Jam Pengamatan : 08.00 WITA
 No. Unit Alat Gali Muat : EX 430

DATA UNIT ALAT GALI MUAT

Jenis Alat Gali Muat : KOMATSU PC 400-8
 Kapasitas Alat Gali Muat : 2 BCM
 Jumlah Pengisian : 6 BUCKET
 Faktor Isian Bucket : 90 %
 Efisiensi Unit : 75 %

DATA ALAT ANGGKUT

Jenis Alat Angkut : DT VOLVO FM 370 & FM 380
 Kapasitas Alat Angkut : 10.80 BCM
 Jumlah Alat Angkut : 5
 Jarak Front ke Disposasi : 1400 m
 Efisiensi Unit : 75 %

No.	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)
1	0.00	13.94	131.38	270.33	60.09	20.79	186.92	683.45	683.45	11.39	11.39
2	0.00	25.07	137.51	290.52	41.38	28.71	181.80	704.99	704.99	11.75	11.75
3	0.00	28.18	130.41	279.19	37.98	34.99	170.60	681.35	681.35	11.36	11.36
4	0.00	34.88	132.11	274.01	34.99	41.84	176.64	694.47	694.47	11.57	11.57
5	24.77	44.00	133.14	272.49	33.15	37.37	184.64	729.56	704.79	12.16	11.75
6	33.88	11.69	122.26	236.98	27.05	35.36	162.05	629.27	595.39	10.49	9.92
7	48.25	9.03	126.87	265.50	32.56	39.68	137.03	658.92	610.67	10.98	10.18
8	41.04	12.74	125.30	268.16	31.83	38.73	171.31	689.11	648.07	11.49	10.80
9	0.00	21.50	127.12	257.45	30.64	114.21	171.67	722.59	722.59	12.04	12.04
10	3.10	15.72	133.01	274.07	23.46	35.89	145.72	630.97	627.87	10.52	10.46
11	27.79	29.85	130.64	271.10	23.51	30.31	171.46	684.66	656.87	11.41	10.95
12	41.06	22.52	130.94	248.69	27.52	30.63	157.37	658.73	617.67	10.98	10.29
13	0.00	35.59	137.94	274.95	29.74	39.25	184.74	702.21	702.21	11.70	11.70
14	0.00	42.53	120.40	260.01	28.56	32.58	161.67	645.75	645.75	10.76	10.76
15	33.39	52.45	135.36	263.23	31.04	37.94	152.37	705.78	672.39	11.76	11.21
16	0.00	25.07	136.81	270.52	41.38	28.71	181.80	684.29	684.29	11.40	11.40
17	3.10	15.72	131.03	274.07	23.46	35.89	145.72	628.99	625.89	10.48	10.43
18	28.89	28.75	133.61	270.00	24.61	29.21	173.66	688.73	659.84	11.48	11.00
19	42.16	21.42	134.09	247.59	28.62	29.53	159.57	662.98	620.82	11.05	10.35
20	47.78	34.49	132.00	273.85	30.84	38.15	186.94	744.05	696.27	12.40	11.60
21	1.10	41.43	132.26	258.91	29.66	31.48	163.87	658.71	657.61	10.98	10.96
22	34.49	51.35	130.20	262.13	32.14	36.84	154.57	701.72	667.23	11.70	11.12
23	0.00	25.07	119.61	270.52	41.38	28.71	181.80	667.09	667.09	11.12	11.12
24	0.00	28.18	125.48	279.19	37.98	34.99	170.60	676.42	676.42	11.27	11.27
25	0.00	29.85	130.72	271.10	23.51	30.31	171.46	656.95	656.95	10.95	10.95
26	39.45	22.52	122.45	248.69	27.52	30.63	157.37	648.63	609.18	10.81	10.15
27	0.00	13.94	141.34	263.35	59.09	21.79	186.92	686.43	686.43	11.44	11.44
28	0.00	25.07	119.56	251.52	40.38	29.71	181.80	648.04	648.04	10.80	10.80
29	20.56	15.00	137.28	262.09	37.62	30.46	152.92	655.93	635.37	10.93	10.59
30	0.00	35.59	131.97	275.95	28.74	40.25	185.74	698.24	698.24	11.64	11.64
31	0.00	42.53	126.42	261.01	27.56	33.58	162.67	653.77	653.77	10.90	10.90
Total	470.81	855.67	4039.2	8247.2	1028.0	1108.5	5233.4	20982.8	20512.0	349.7	341.9
Rata-rata	15.19	27.60	130.30	266.04	33.16	35.76	168.82	676.86	661.68	11.28	11.03

Tanggal Pengamatan : 09 November 2015
 Jam Pengamatan : 10.00 WITA
 No. Unit Alat Gali Muat : EX 431

DATA UNIT ALAT GALI MUAT

Jenis Alat Gali Muat : KOMATSU PC 400-8
 Kapasitas Alat Gali Muat : 2 BCM
 Jumlah Pengisian : 6 BUCKET
 Faktor Isian Bucket : 90 %
 Efisiensi Unit : 75 %

DATA ALAT ANGKUT

Jenis Alat Angkut : DT VOLVO FM 370 & FM 380
 Kapasitas Alat Angkut : 10.80 BCM
 Jumlah Alat Angkut : 5
 Jarak Front ke Disposasi : 1200 m
 Efisiensi Unit : 75 %

No.	Queuein g 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 Queuein (detik)	Total Cycle Time without Queueing (detik)	Total Cycle Time with Queueing (menit)	Total Cycle Time without Queueing (menit)
								603.84	603.84	10.06	10.06
1	0	30.5	117.12	162.66	30.02	44.97	218.57	603.84	603.84	10.06	10.06
2	38.25	30.26	111.85	158.85	31.83	48.09	202.94	622.07	583.82	10.37	9.73
3	13.59	31.49	118.02	178.13	24.14	44.92	211.94	622.23	608.64	10.37	10.14
4	39.1	24.46	110.36	169.86	31.24	43.31	225.19	643.52	604.42	10.73	10.07
5	41.67	42.09	112.08	166.99	27.90	43.74	207.27	641.74	600.07	10.70	10.00
6	0	40.07	111.34	173.81	24.19	40.76	228.23	618.40	618.40	10.31	10.31
7	0	58.47	114.96	188.86	19.33	43.80	220.52	645.94	645.94	10.77	10.77
8	23.15	37.16	118.16	206.80	19.28	40.06	194.08	638.69	615.54	10.64	10.26
9	0	54.16	110.3	191.07	24.62	40.12	188.71	608.98	608.98	10.15	10.15
10	0	47.59	110.23	163.95	21.55	42.72	196.67	582.71	582.71	9.71	9.71
11	0	34.12	109.55	180.94	31.43	44.33	197.14	597.51	597.51	9.96	9.96
12	54.27	27.93	112.7	169.48	16.24	41.98	191.14	613.74	559.47	10.23	9.32
13	0	40.07	120.91	173.81	24.19	40.76	228.23	627.97	627.97	10.47	10.47
14	0	58.47	115.24	188.86	19.33	43.80	220.52	646.22	646.22	10.77	10.77
15	0	47.59	111.174	163.95	21.55	42.72	196.67	583.65	583.65	9.73	9.73
16	0	34.12	117.97	180.94	31.43	44.33	197.14	605.93	605.93	10.10	10.10
17	54.27	27.93	119.62	169.48	16.24	41.98	191.14	620.66	566.39	10.34	9.44
18	0	40.07	114.98	173.81	24.19	40.76	228.23	622.04	622.04	10.37	10.37
19	0	58.47	115.68	188.86	19.33	43.80	220.52	646.66	646.66	10.78	10.78
20	23.15	37.16	119.24	206.80	19.28	40.06	194.08	639.77	616.62	10.66	10.28
21	52.5	14	111.57	300.98	0.00	31.43	183.15	693.63	641.13	11.56	10.69
22	0	15	109.74	317.74	0.00	35.93	199.64	678.05	678.05	11.30	11.30
23	12.1	16	114.85	317.01	0.00	22.94	166.74	649.64	637.54	10.83	10.63
24	0	17	113.18	311.35	0.00	33.80	187.32	662.65	662.65	11.04	11.04
25	0	18	115.19	315.27	9.87	38.48	193.04	689.85	689.85	11.50	11.50
26	40.28	29.95	111.32	162.89	15.70	42.43	172.70	575.27	534.99	9.59	8.92
27	31.68	37.24	112.55	169.00	45.95	45.43	207.10	648.95	617.27	10.82	10.29
28	56.03	37.59	109.5	179.15	23.28	35.63	192.88	634.06	578.03	10.57	9.63
29	0	40.42	117.46	198.84	19.01	44.59	192.26	612.58	612.58	10.21	10.21
30	0	47.59	120.68	163.95	21.55	42.72	196.67	593.16	593.16	9.89	9.89
31	0	34.12	119.434	180.94	31.43	44.33	197.14	607.39	607.39	10.12	10.12
Total	480.04	1109.09	3546.96	6175.03	644.10	1274.72	6247.57	19477.5	18997.5	324.6	316.6
Rata-rata	15.49	35.78	114.42	199.19	20.78	41.12	201.53	628.31	612.82	10.47	10.21

Tempat Pengamatan : PIT GSB 01, Job Site Kitadin
Tanggal Pengamatan : 09 November 2015
Jam Pengamatan : 10.00 WITA
No. Unit Alat Gali Muat : EX 432

DATA UNIT ALAT GALI MUAT

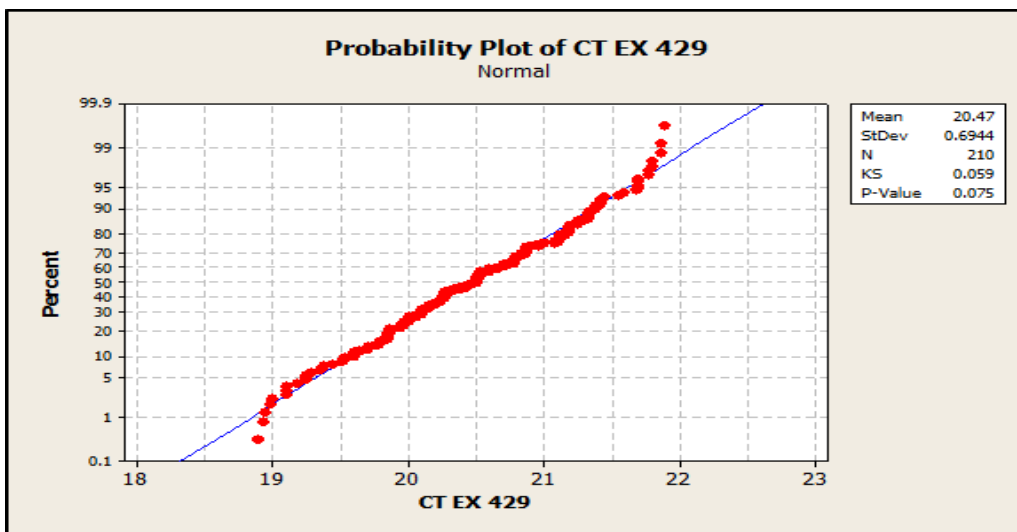
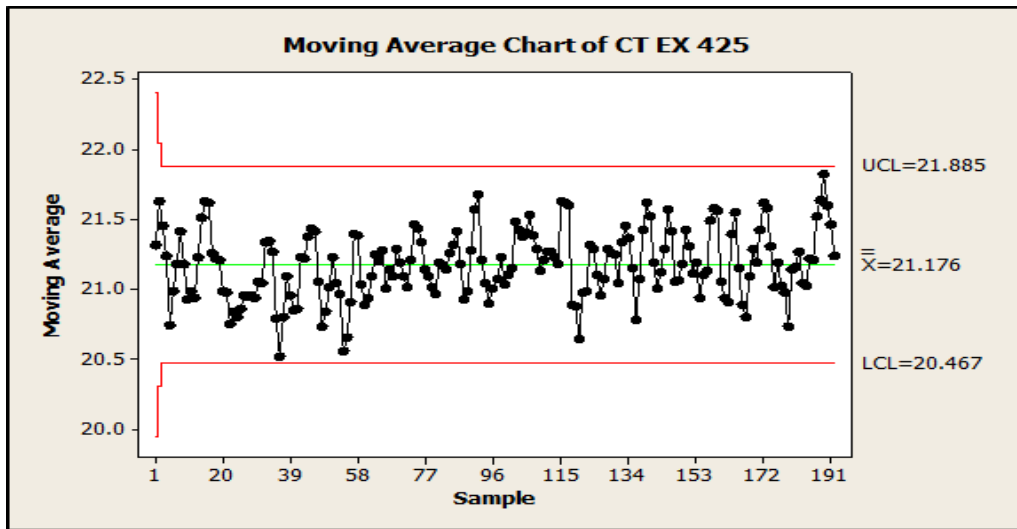
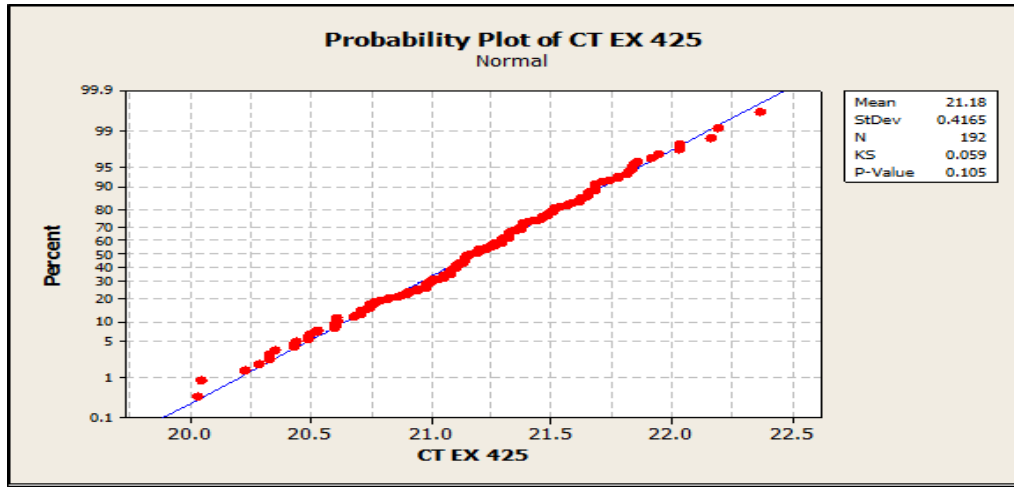
Jenis Alat Gali Muat : KOMATSU PC 400-8
Kapasitas Alat Gali Muat : 2 BCM
Jumlah Pengisian : 6 BUCKET
Faktor Isian Bucket : 90 %
Efisiensi Unit : 75 %

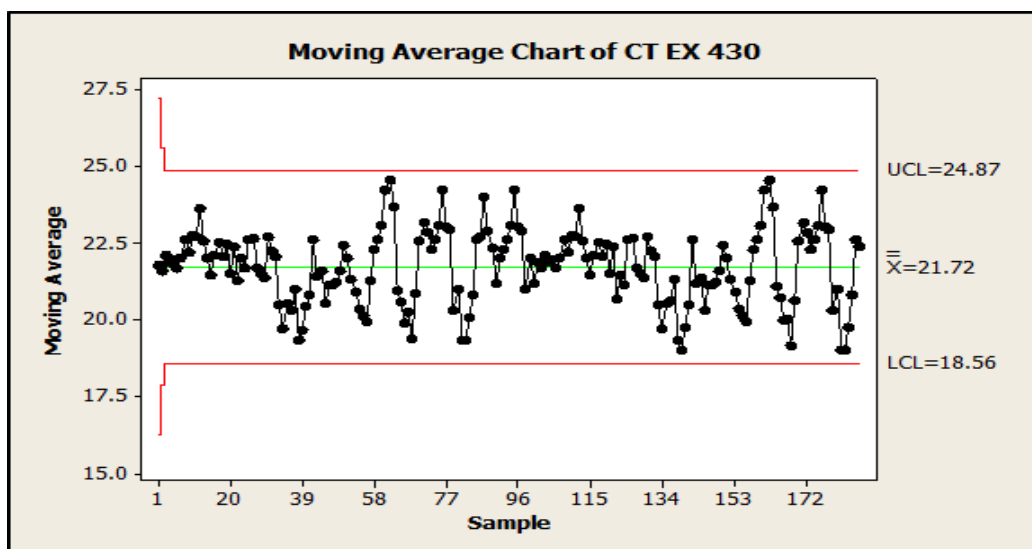
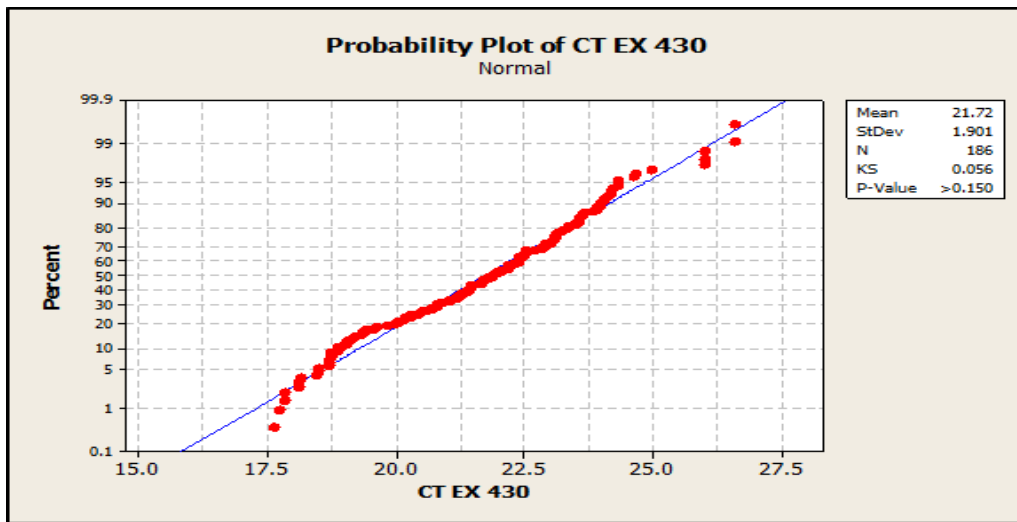
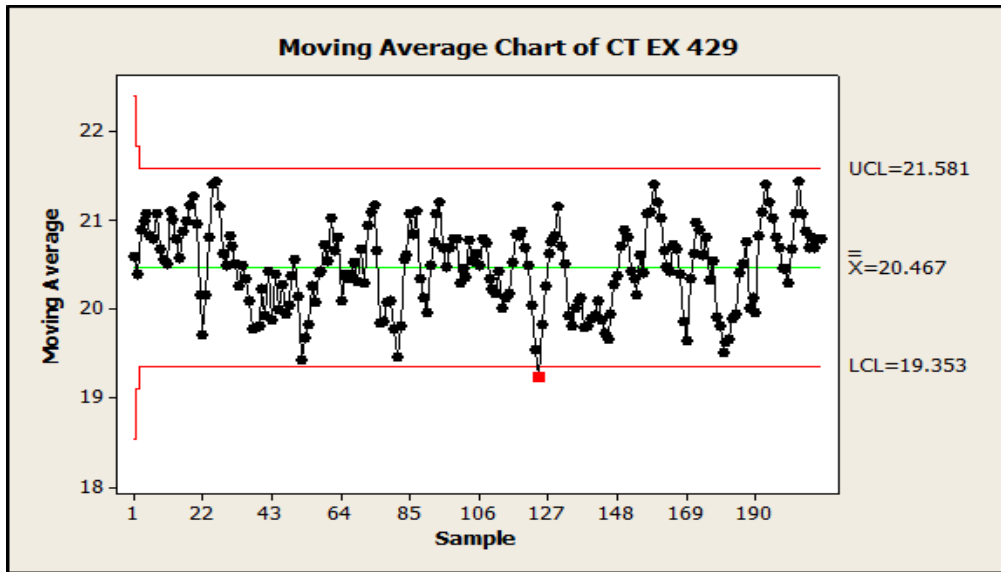
DATA ALAT ANGKUT

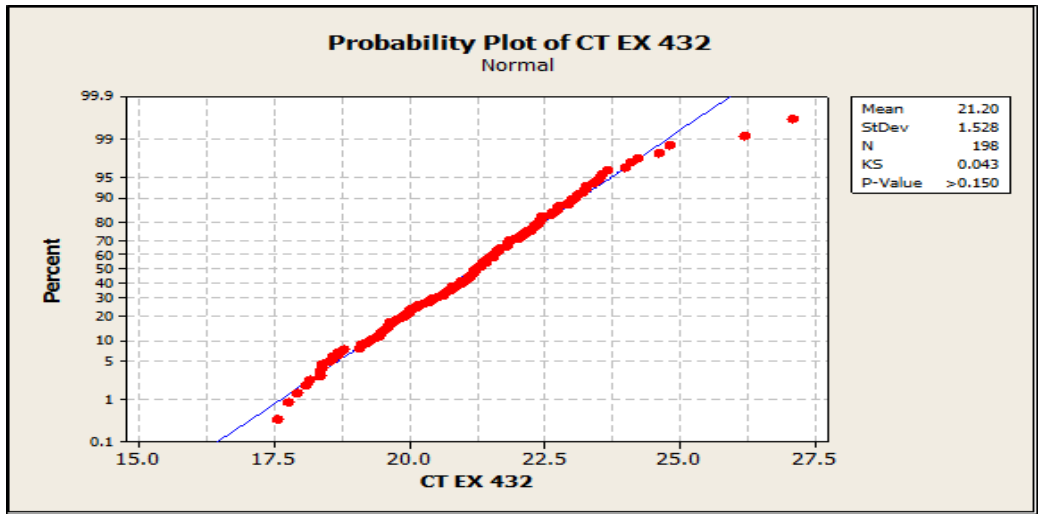
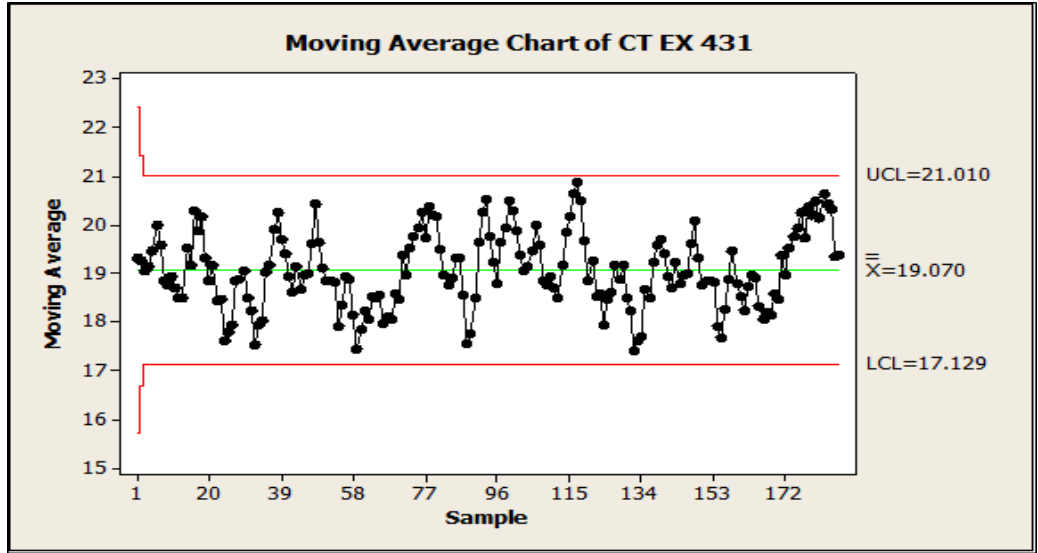
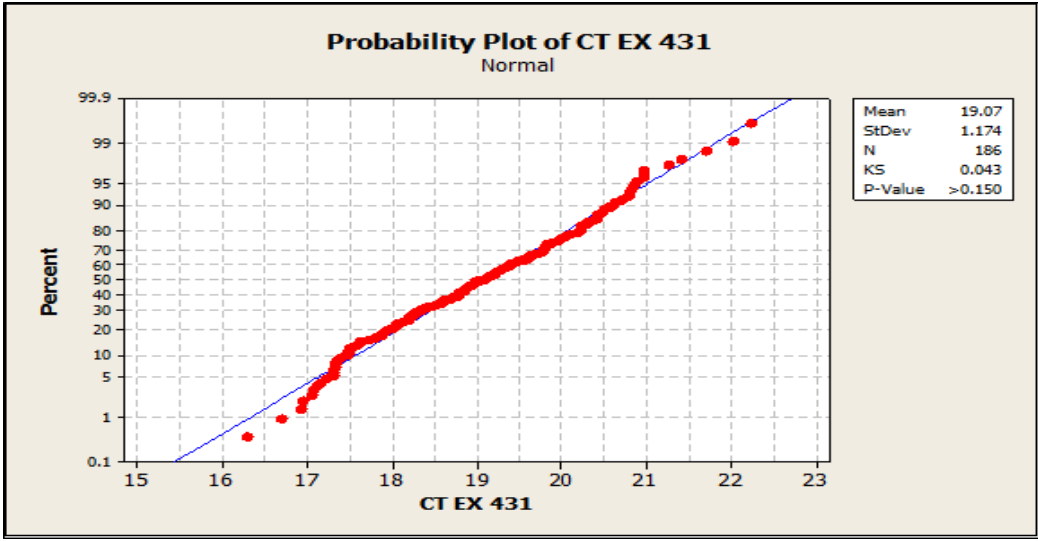
Jenis Alat Angkut : DT VOLVO FM 370 & FM 380
Kapasitas Alat Angkut: 10.80 BCM
Jumlah Alat Angkut : 5
Jarak Front ke Dispos:1200 m
Efisiensi Unit : 75 %

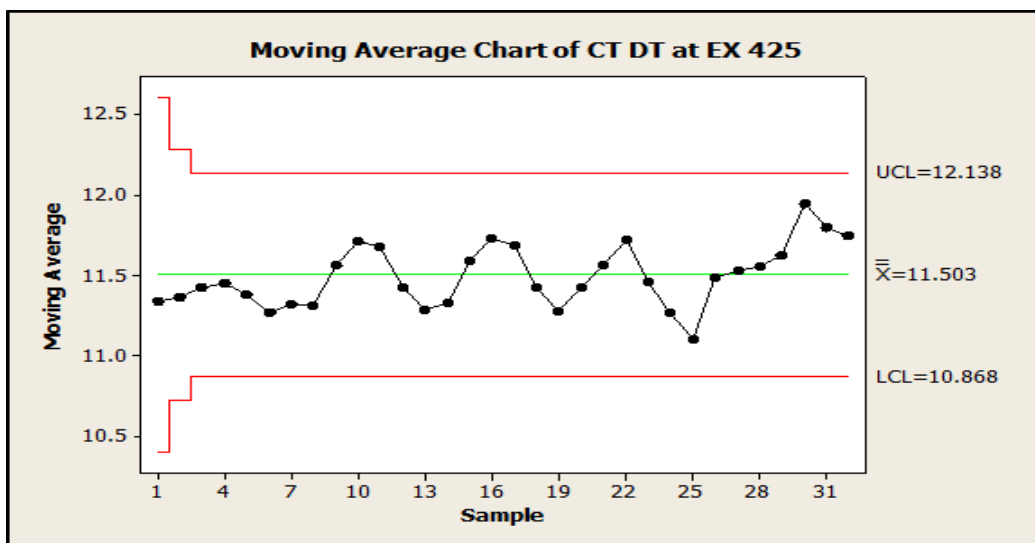
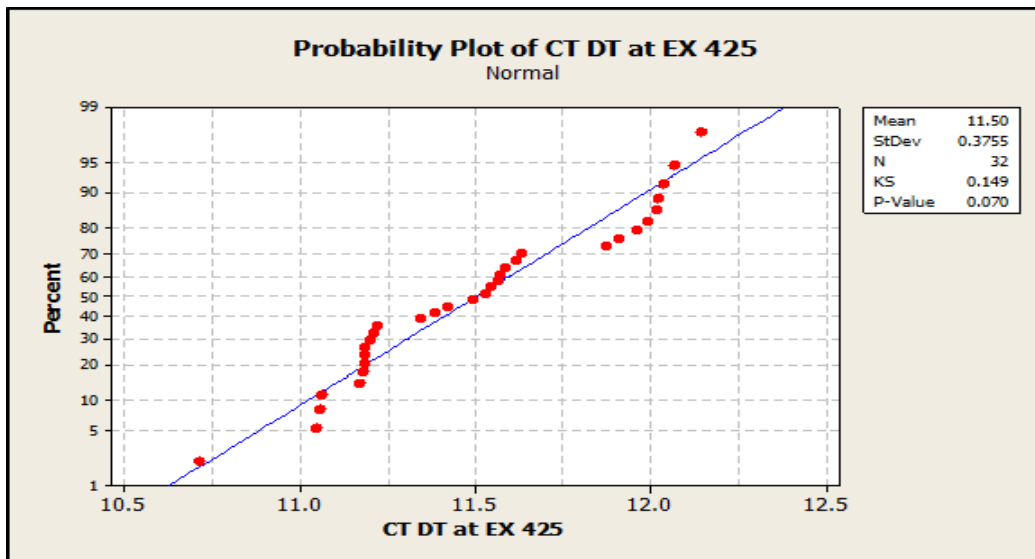
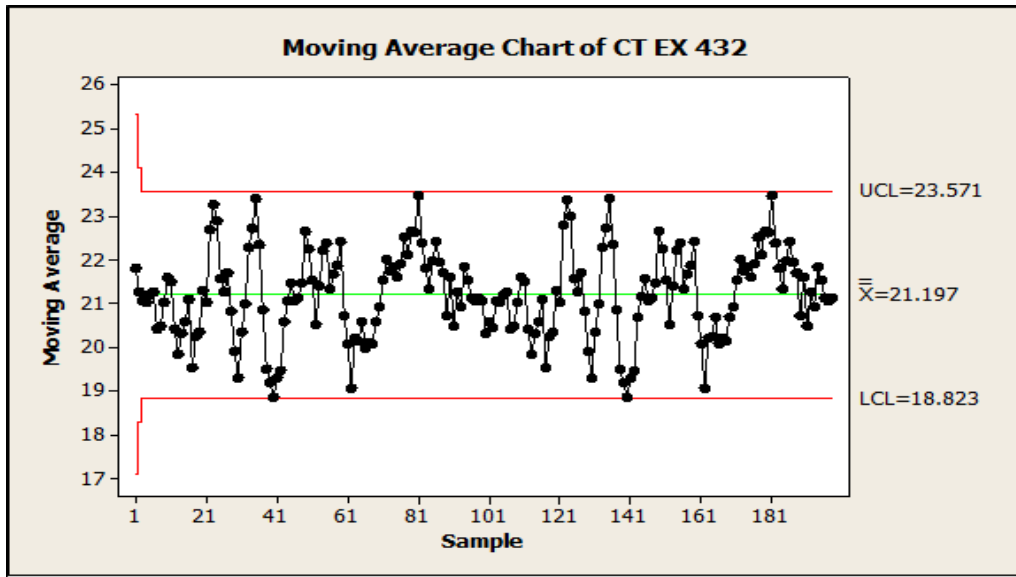
No.	Queuei ng Time (detik)	Spottin g Load Time (detik)	Loading Time (detik)	Hauling Load Time (detik)	Spottin g Dump Time (detik)	Dumpin g Time (detik)	Returni ng Time (detik)	Total Cycle Time with Queuei ng (detik)	Total Cycle Time without Queuei ng (detik)	Total Cycle Time with Queuei ng (menit)	Total Cycle Time without Queuei ng (menit)
								644.99	644.99	10.75	10.75
1	0.00	29.64	126.88	202.28	27.11	40.12	218.96	644.99	644.99	10.75	10.75
2	23.97	14.23	124.26	218.70	21.28	34.55	204.09	641.08	617.11	10.68	10.29
3	43.09	11.45	122.46	186.63	30.34	39.17	212.33	645.47	602.38	10.76	10.04
4	0.00	25.77	131.78	240.14	18.28	40.87	219.97	676.81	676.81	11.28	11.28
5	22.38	32.17	122.99	187.78	21.05	42.69	232.98	662.04	639.66	11.03	10.66
6	78.17	24.04	133.85	165.80	16.20	33.48	204.41	655.95	577.78	10.93	9.63
7	0.00	36.67	116.05	202.58	15.13	40.64	189.44	600.51	600.51	10.01	10.01
8	33.33	21.25	128.75	189.80	13.36	39.53	209.37	635.39	602.06	10.59	10.03
9	0.00	19.65	131.19	182.36	15.32	33.29	190.58	572.39	572.39	9.54	9.54
10	21.73	33.27	127.13	199.63	13.34	40.43	205.87	641.40	619.67	10.69	10.33
11	0.00	25.77	120.55	240.14	18.28	40.87	219.97	665.58	665.58	11.09	11.09
12	22.38	32.17	127.75	187.78	21.05	42.69	232.98	666.80	644.42	11.11	10.74
13	78.17	24.04	131.11	165.80	16.20	33.48	204.41	653.21	575.04	10.89	9.58
14	0.00	16.67	134.37	202.58	15.13	40.64	189.44	598.83	598.83	9.98	9.98
15	33.33	21.25	130.57	189.80	13.36	39.53	209.37	637.21	603.88	10.62	10.06
16	0.00	29.65	126.14	182.36	15.32	33.29	190.58	577.34	577.34	9.62	9.62
17	21.73	33.27	124.47	199.63	13.34	40.43	205.87	638.74	617.01	10.65	10.28
18	0.00	32.17	124.97	188.83	14.55	35.03	194.52	590.07	590.07	9.83	9.83
19	54.27	17.93	125.43	188.48	16.24	41.98	166.14	610.47	556.20	10.17	9.27
20	28.42	17.60	122.50	194.57	18.89	45.26	201.40	628.64	600.22	10.48	10.00
21	70.28	19.95	133.92	181.89	15.70	42.43	147.70	611.87	541.59	10.20	9.03
22	43.09	11.45	122.61	186.63	30.34	39.17	212.33	645.62	602.53	10.76	10.04
23	0.00	25.77	128.66	240.14	18.28	40.87	219.97	673.69	673.69	11.23	11.23
24	22.38	32.17	121.39	187.78	21.05	42.69	232.98	660.44	638.06	11.01	10.63
25	78.17	24.04	130.13	165.80	16.20	33.48	204.41	652.23	574.06	10.87	9.57
26	54.27	17.93	128.17	188.48	16.24	41.98	166.14	613.21	558.94	10.22	9.32
27	0.00	25.77	124.43	240.14	18.28	40.87	219.97	669.46	669.46	11.16	11.16
28	22.38	12.17	122.50	187.78	21.05	42.69	232.98	641.55	619.17	10.69	10.32
29	78.17	14.04	130.09	165.80	16.20	33.48	229.41	667.19	589.02	11.12	9.82
30	0.00	26.67	135.32	202.58	15.13	40.64	214.44	634.78	634.78	10.58	10.58
31	33.33	11.25	132.67	189.80	13.36	39.53	234.37	654.31	620.98	10.91	10.35
Total	863.04	719.9	3943.1	6052.5	555.6	1215.8	6417.4	19767.3	18904.2	329.5	315.1
Rata-rata	27.84	23.22	127.20	195.24	17.92	39.22	207.01	637.65	609.81	10.63	10.16

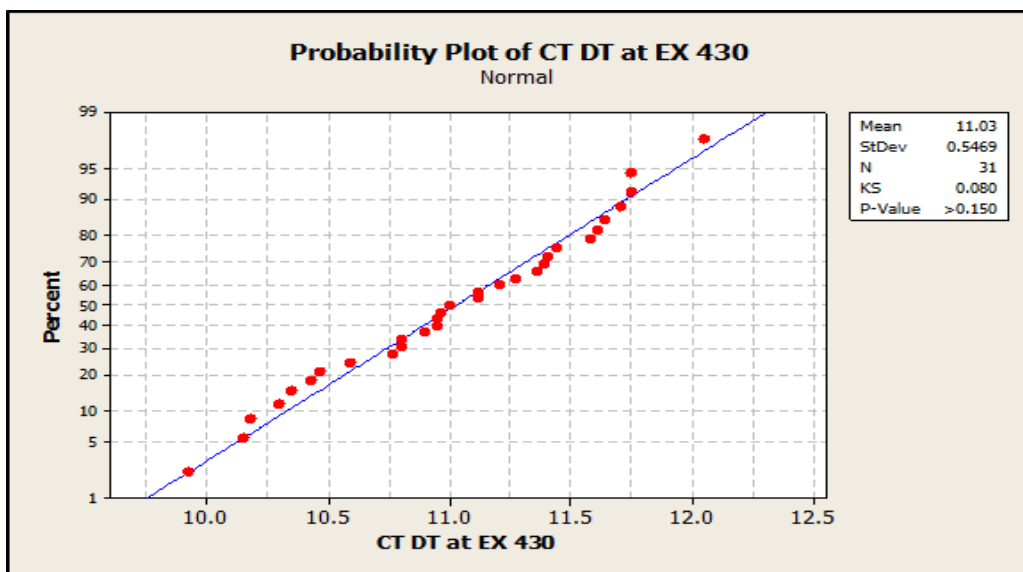
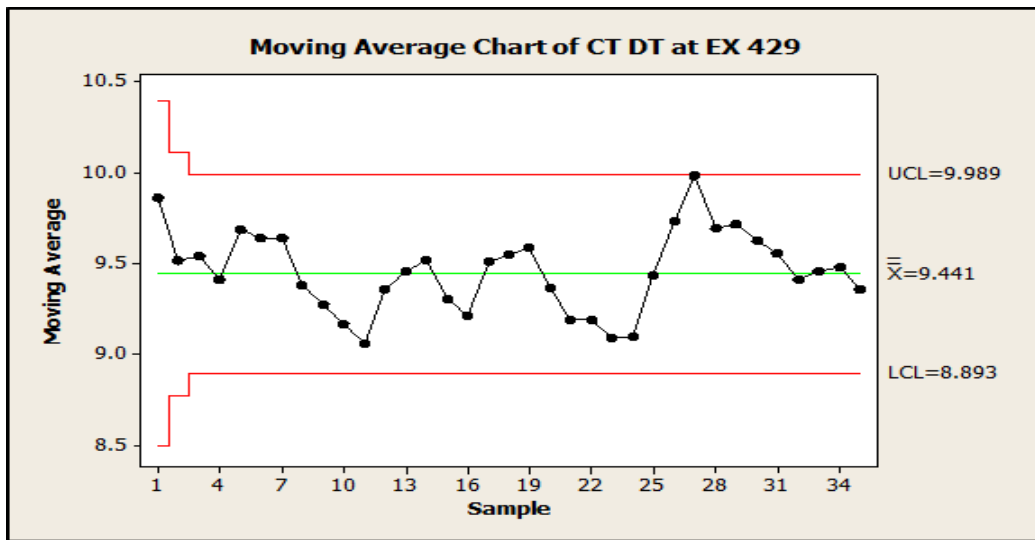
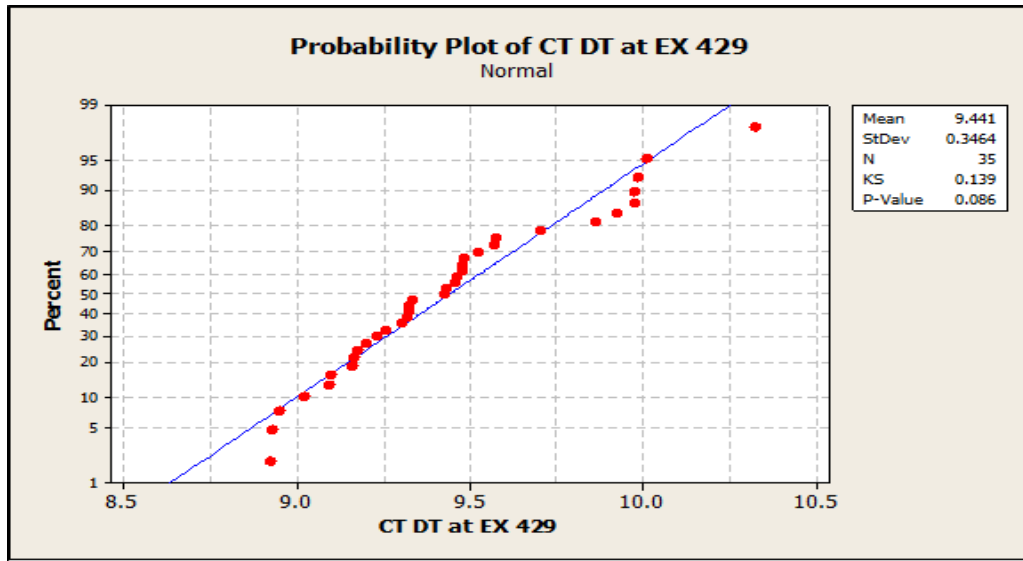
Lampiran E. UJI NORMALITAS DAN KESERAGAMAN DATA

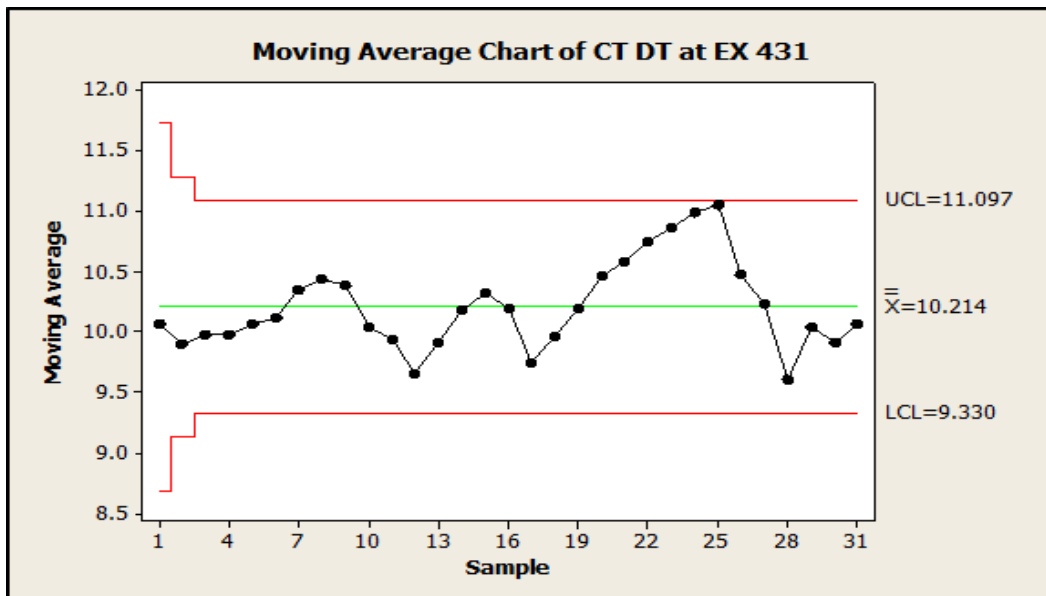
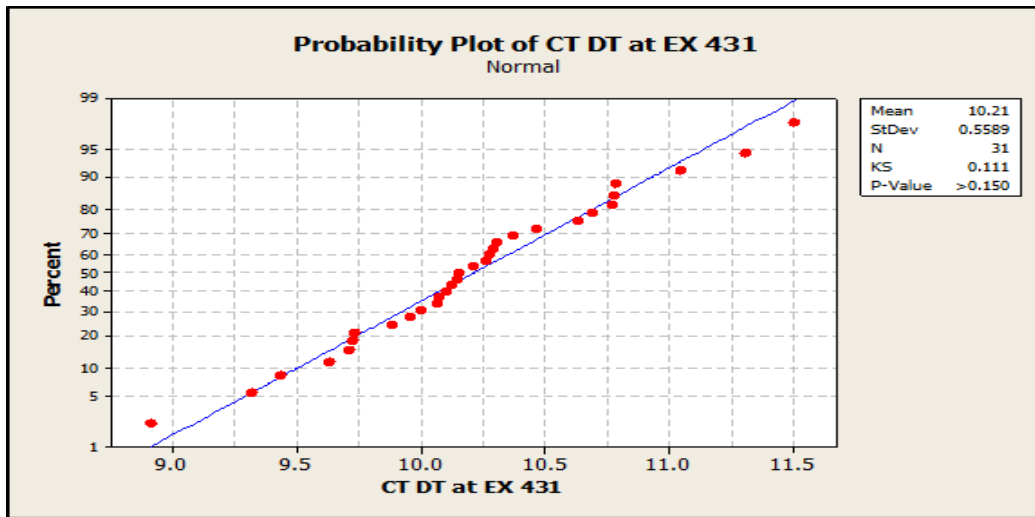
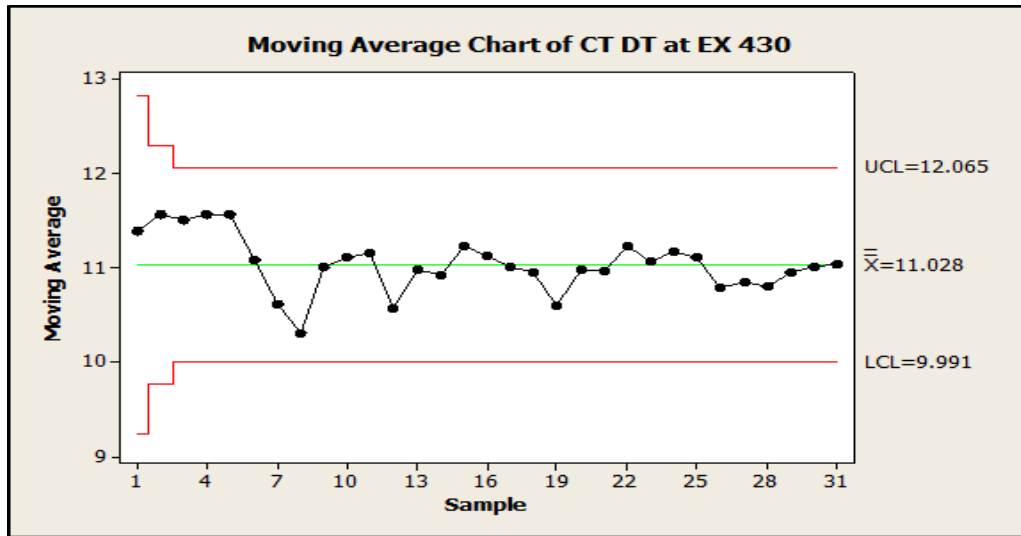


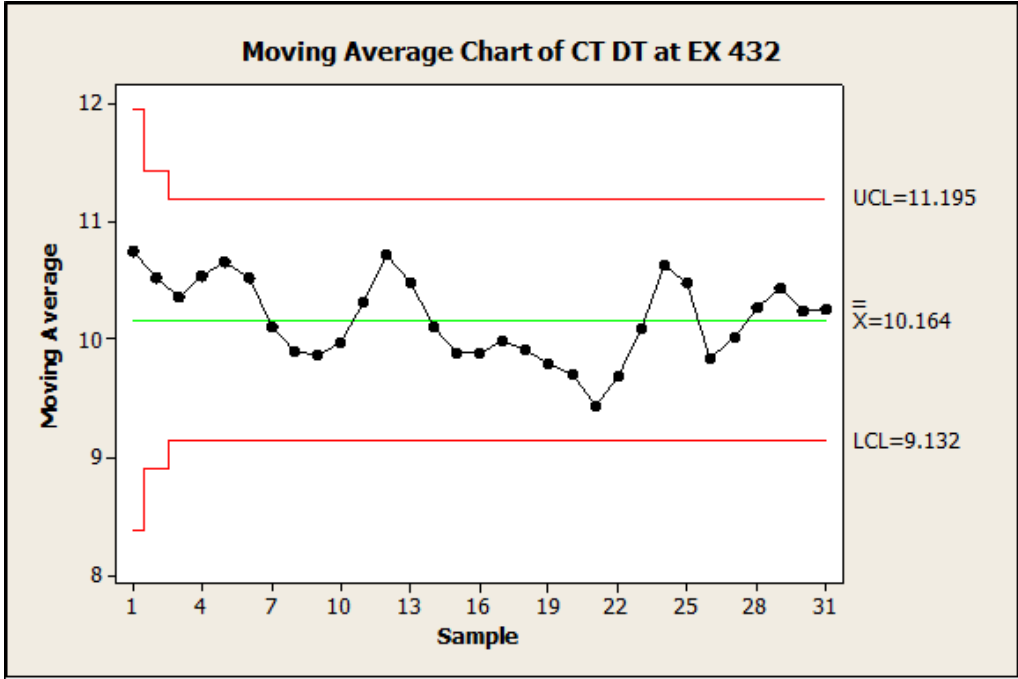
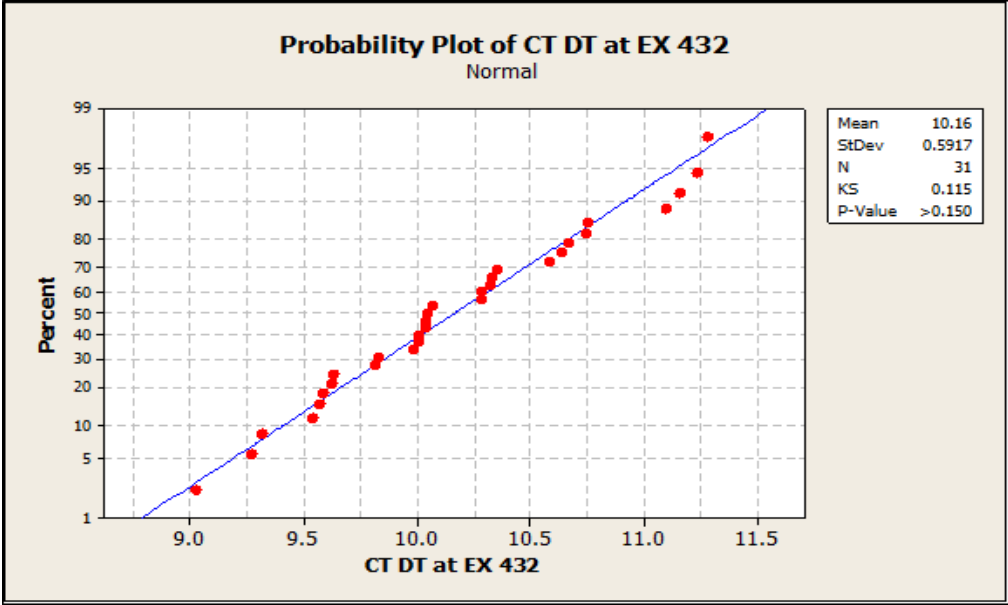












Lampiran F. DATA HITUNGAN *MATCH FACTOR*

EX 425

n	ctm	cta	n pengisian	MF
1	0.35	11.50	6	0.18
2	0.35	11.50	6	0.37
3	0.35	11.50	6	0.55
4	0.35	11.50	6	0.74
5	0.35	11.50	6	0.92
6	0.35	11.50	6	1.10
7	0.35	11.50	6	1.29
8	0.35	11.50	6	1.47
9	0.35	11.50	6	1.66
10	0.35	11.50	6	1.84
11	0.35	11.50	6	2.03
12	0.35	11.50	6	2.21
13	0.35	11.50	6	2.39
14	0.35	11.50	6	2.58
15	0.35	11.50	6	2.76

EX 429

n	ctm	cta	n pengisian	MF
1	0.34	9.44	6	0.22
2	0.34	9.44	6	0.43
3	0.34	9.44	6	0.65
4	0.34	9.44	6	0.87
5	0.34	9.44	6	1.08
6	0.34	9.44	6	1.30
7	0.34	9.44	6	1.52
8	0.34	9.44	6	1.73
9	0.34	9.44	6	1.95
10	0.34	9.44	6	2.17
11	0.34	9.44	6	2.38
12	0.34	9.44	6	2.60
13	0.34	9.44	6	2.82
14	0.34	9.44	6	3.03
15	0.34	9.44	6	3.25

EX 430

n	ctm	cta	n pengisian	MF
1	0.36	11.03	6	0.20
2	0.36	11.03	6	0.39
3	0.36	11.03	6	0.59
4	0.36	11.03	6	0.79
5	0.36	11.03	6	0.98
6	0.36	11.03	6	1.18
7	0.36	11.03	6	1.38
8	0.36	11.03	6	1.58
9	0.36	11.03	6	1.77
10	0.36	11.03	6	1.97
11	0.36	11.03	6	2.17
12	0.36	11.03	6	2.36
13	0.36	11.03	6	2.56
14	0.36	11.03	6	2.76
15	0.36	11.03	6	2.95

EX 431

n	ctm	cta	n pengisian	MF
1	0.32	10.21	6	0.19
2	0.32	10.21	6	0.37
3	0.32	10.21	6	0.56
4	0.32	10.21	6	0.75
5	0.32	10.21	6	0.93
6	0.32	10.21	6	1.12
7	0.32	10.21	6	1.31
8	0.32	10.21	6	1.49
9	0.32	10.21	6	1.68
10	0.32	10.21	6	1.87
11	0.32	10.21	6	2.05
12	0.32	10.21	6	2.24
13	0.32	10.21	6	2.43
14	0.32	10.21	6	2.62
15	0.32	10.21	6	2.80

EX 432

n	ctm	cta	n pengisian	MF
1	0.35	10.16	6	0.21
2	0.35	10.16	6	0.42
3	0.35	10.16	6	0.63
4	0.35	10.16	6	0.83
5	0.35	10.16	6	1.04
6	0.35	10.16	6	1.25
7	0.35	10.16	6	1.46
8	0.35	10.16	6	1.67
9	0.35	10.16	6	1.88
10	0.35	10.16	6	2.08
11	0.35	10.16	6	2.29
12	0.35	10.16	6	2.50
13	0.35	10.16	6	2.71
14	0.35	10.16	6	2.92
15	0.35	10.16	6	3.13

Lampiran G. DATA HITUNGAN *PROBABILITAS ANTRIAN*

EX 425

Na	e	x	(-x)	p (Na, x)	P (Na,x)	Po	1-Po
0	2.71828	4.1	-4.1	0.01660	0.01660	1.00000	0.00000
1	2.71828	4.1	-4.1	0.06691	0.08450	0.79182	0.20818
2	2.71828	4.1	-4.1	0.13784	0.22380	0.61593	0.38407
3	2.71828	4.1	-4.1	0.18932	0.41420	0.45708	0.54292
4	2.71828	4.1	-4.1	0.19502	0.60930	0.32007	0.67993
5	2.71828	4.1	-4.1	0.16071	0.76930	0.20891	0.79109
6	2.71828	4.1	-4.1	0.11037	0.87860	0.12562	0.87438
7	2.71828	4.1	-4.1	0.06496	0.94270	0.06891	0.93109
8	2.71828	4.1	-4.1	0.03346	0.97550	0.03430	0.96570
9	2.71828	4.1	-4.1	0.01532	0.99050	0.01547	0.98453
10	2.71828	4.1	-4.1	0.00631	0.99660	0.00633	0.99367
11	2.71828	4.1	-4.1	0.00236	0.99890	0.00237	0.99763
12	2.71828	4.1	-4.1	0.00081	0.99970	0.00081	0.99919
13	2.71828	4.1	-4.1	0.00026	0.99990	0.00026	0.99974
14	2.71828	4.1	-4.1	0.00008	1.00000	0.00008	0.99992
15	2.71828	4.1	-4.1	0.00002	1.00000	0.00002	0.99998

EX 429

Na	e	x	(-x)	p (Na, x)	P (Na,x)	Po	1-Po
0	2.71828	3.4	-3.4	0.03340	0.03340	1.00000	0.00000
1	2.71828	3.4	-3.4	0.11059	0.14680	0.75337	0.24663
2	2.71828	3.4	-3.4	0.19002	0.33970	0.55936	0.44064
3	2.71828	3.4	-3.4	0.21765	0.55840	0.38977	0.61023
4	2.71828	3.4	-3.4	0.18698	0.74420	0.25124	0.74876
5	2.71828	3.4	-3.4	0.12850	0.87050	0.14762	0.85238
6	2.71828	3.4	-3.4	0.07359	0.94210	0.07812	0.92188
7	2.71828	3.4	-3.4	0.03613	0.97690	0.03698	0.96302
8	2.71828	3.4	-3.4	0.01552	0.99170	0.01565	0.98435
9	2.71828	3.4	-3.4	0.00592	0.99730	0.00594	0.99406
10	2.71828	3.4	-3.4	0.00204	0.99920	0.00204	0.99796
11	2.71828	3.4	-3.4	0.00064	0.99980	0.00064	0.99936
12	2.71828	3.4	-3.4	0.00018	0.99990	0.00018	0.99982
13	2.71828	3.4	-3.4	0.00005	1.00000	0.00005	0.99995
14	2.71828	3.4	-3.4	0.00001	1.00000	0.00001	0.99999

EX 430

Na	e	x	(-x)	p (Na, x)	P (Na,x)	Po	1-Po
0	2.71828	4.0	-4.0	0.01830	0.01830	1.00000	0.00000
1	2.71828	4.0	-4.0	0.07540	0.09160	0.82313	0.17687
2	2.71828	4.0	-4.0	0.14935	0.23810	0.62726	0.37274
3	2.71828	4.0	-4.0	0.19722	0.43350	0.45496	0.54504
4	2.71828	4.0	-4.0	0.19533	0.62880	0.31064	0.68936
5	2.71828	4.0	-4.0	0.15477	0.78510	0.19713	0.80287
6	2.71828	4.0	-4.0	0.10219	0.88930	0.11491	0.88509
7	2.71828	4.0	-4.0	0.05783	0.94890	0.06095	0.93905
8	2.71828	4.0	-4.0	0.02864	0.97860	0.02927	0.97073
9	2.71828	4.0	-4.0	0.01261	0.99190	0.01271	0.98729
10	2.71828	4.0	-4.0	0.00499	0.99720	0.00501	0.99499
11	2.71828	4.0	-4.0	0.00180	0.99910	0.00180	0.99820
12	2.71828	4.0	-4.0	0.00059	0.99970	0.00059	0.99941
13	2.71828	4.0	-4.0	0.00018	0.99990	0.00018	0.99982
14	2.71828	4.0	-4.0	0.00005	1.00000	0.00005	0.99995

EX 431

Na	e	x	(-x)	p (Na, x)	P (Na,x)	Po	1-Po
0	2.71828	4.2	-4.2	0.01500	0.01500	1.00000	0.00000
1	2.71828	4.2	-4.2	0.06200	0.07800	0.79484	0.20516
2	2.71828	4.2	-4.2	0.13084	0.21020	0.62243	0.37757
3	2.71828	4.2	-4.2	0.18407	0.39540	0.46553	0.53447
4	2.71828	4.2	-4.2	0.19422	0.58980	0.32930	0.67070
5	2.71828	4.2	-4.2	0.16395	0.75310	0.21770	0.78230
6	2.71828	4.2	-4.2	0.11533	0.86750	0.13294	0.86706
7	2.71828	4.2	-4.2	0.06954	0.93610	0.07428	0.92572
8	2.71828	4.2	-4.2	0.03669	0.97210	0.03774	0.96226
9	2.71828	4.2	-4.2	0.01720	0.98890	0.01740	0.98260
10	2.71828	4.2	-4.2	0.00726	0.99590	0.00729	0.99271
11	2.71828	4.2	-4.2	0.00279	0.99860	0.00279	0.99721
12	2.71828	4.2	-4.2	0.00098	0.99960	0.00098	0.99902
13	2.71828	4.2	-4.2	0.00032	0.99990	0.00032	0.99968
14	2.71828	4.2	-4.2	0.00010	1.00000	0.00010	0.99990
15	2.71828	4.2	-4.2	0.00003	1.00000	0.00003	0.99997

EX 432

Na	e	x	(-x)	p (Na, x)	P (Na,x)	Po	1-Po
0	2.71828	3.6	-3.6	0.02730	0.02730	1.00000	0.00000
1	2.71828	3.6	-3.6	0.10013	0.12570	0.79654	0.20346
2	2.71828	3.6	-3.6	0.17900	0.30270	0.59133	0.40867
3	2.71828	3.6	-3.6	0.21333	0.51520	0.41407	0.58593
4	2.71828	3.6	-3.6	0.19068	0.70640	0.26994	0.73006
5	2.71828	3.6	-3.6	0.13635	0.84410	0.16154	0.83846
6	2.71828	3.6	-3.6	0.08125	0.92670	0.08768	0.91232
7	2.71828	3.6	-3.6	0.04150	0.96920	0.04282	0.95718
8	2.71828	3.6	-3.6	0.01855	0.98830	0.01877	0.98123
9	2.71828	3.6	-3.6	0.00737	0.99600	0.00740	0.99260
10	2.71828	3.6	-3.6	0.00263	0.99870	0.00264	0.99736
11	2.71828	3.6	-3.6	0.00086	0.99960	0.00086	0.99914
12	2.71828	3.6	-3.6	0.00026	0.99990	0.00026	0.99974
13	2.71828	3.6	-3.6	0.00007	1.00000	0.00007	0.99993
14	2.71828	3.6	-3.6	0.00002	1.00000	0.00002	0.99998

Lampiran G. DATA HITUNGAN *PROBABILITAS ANTRIAN*

EX 425

Na	e	x	(-x)	p (Na, x)	P (Na,x)	Po	1-Po
0	2.71828	4.1	-4.1	0.01660	0.01660	1.00000	0.00000
1	2.71828	4.1	-4.1	0.06691	0.08450	0.79182	0.20818
2	2.71828	4.1	-4.1	0.13784	0.22380	0.61593	0.38407
3	2.71828	4.1	-4.1	0.18932	0.41420	0.45708	0.54292
4	2.71828	4.1	-4.1	0.19502	0.60930	0.32007	0.67993
5	2.71828	4.1	-4.1	0.16071	0.76930	0.20891	0.79109
6	2.71828	4.1	-4.1	0.11037	0.87860	0.12562	0.87438
7	2.71828	4.1	-4.1	0.06496	0.94270	0.06891	0.93109
8	2.71828	4.1	-4.1	0.03346	0.97550	0.03430	0.96570
9	2.71828	4.1	-4.1	0.01532	0.99050	0.01547	0.98453
10	2.71828	4.1	-4.1	0.00631	0.99660	0.00633	0.99367
11	2.71828	4.1	-4.1	0.00236	0.99890	0.00237	0.99763
12	2.71828	4.1	-4.1	0.00081	0.99970	0.00081	0.99919
13	2.71828	4.1	-4.1	0.00026	0.99990	0.00026	0.99974
14	2.71828	4.1	-4.1	0.00008	1.00000	0.00008	0.99992
15	2.71828	4.1	-4.1	0.00002	1.00000	0.00002	0.99998

EX 429

Na	e	x	(-x)	p (Na, x)	P (Na,x)	Po	1-Po
0	2.71828	3.4	-3.4	0.03340	0.03340	1.00000	0.00000
1	2.71828	3.4	-3.4	0.11059	0.14680	0.75337	0.24663
2	2.71828	3.4	-3.4	0.19002	0.33970	0.55936	0.44064
3	2.71828	3.4	-3.4	0.21765	0.55840	0.38977	0.61023
4	2.71828	3.4	-3.4	0.18698	0.74420	0.25124	0.74876
5	2.71828	3.4	-3.4	0.12850	0.87050	0.14762	0.85238
6	2.71828	3.4	-3.4	0.07359	0.94210	0.07812	0.92188
7	2.71828	3.4	-3.4	0.03613	0.97690	0.03698	0.96302
8	2.71828	3.4	-3.4	0.01552	0.99170	0.01565	0.98435
9	2.71828	3.4	-3.4	0.00592	0.99730	0.00594	0.99406
10	2.71828	3.4	-3.4	0.00204	0.99920	0.00204	0.99796
11	2.71828	3.4	-3.4	0.00064	0.99980	0.00064	0.99936
12	2.71828	3.4	-3.4	0.00018	0.99990	0.00018	0.99982
13	2.71828	3.4	-3.4	0.00005	1.00000	0.00005	0.99995
14	2.71828	3.4	-3.4	0.00001	1.00000	0.00001	0.99999

EX 430

Na	e	x	(-x)	p (Na, x)	P (Na,x)	Po	1-Po
0	2.71828	4.0	-4.0	0.01830	0.01830	1.00000	0.00000
1	2.71828	4.0	-4.0	0.07540	0.09160	0.82313	0.17687
2	2.71828	4.0	-4.0	0.14935	0.23810	0.62726	0.37274
3	2.71828	4.0	-4.0	0.19722	0.43350	0.45496	0.54504
4	2.71828	4.0	-4.0	0.19533	0.62880	0.31064	0.68936
5	2.71828	4.0	-4.0	0.15477	0.78510	0.19713	0.80287
6	2.71828	4.0	-4.0	0.10219	0.88930	0.11491	0.88509
7	2.71828	4.0	-4.0	0.05783	0.94890	0.06095	0.93905
8	2.71828	4.0	-4.0	0.02864	0.97860	0.02927	0.97073
9	2.71828	4.0	-4.0	0.01261	0.99190	0.01271	0.98729
10	2.71828	4.0	-4.0	0.00499	0.99720	0.00501	0.99499
11	2.71828	4.0	-4.0	0.00180	0.99910	0.00180	0.99820
12	2.71828	4.0	-4.0	0.00059	0.99970	0.00059	0.99941
13	2.71828	4.0	-4.0	0.00018	0.99990	0.00018	0.99982
14	2.71828	4.0	-4.0	0.00005	1.00000	0.00005	0.99995

EX 431

Na	e	x	(-x)	p (Na, x)	P (Na,x)	Po	1-Po
0	2.71828	4.2	-4.2	0.01500	0.01500	1.00000	0.00000
1	2.71828	4.2	-4.2	0.06200	0.07800	0.79484	0.20516
2	2.71828	4.2	-4.2	0.13084	0.21020	0.62243	0.37757
3	2.71828	4.2	-4.2	0.18407	0.39540	0.46553	0.53447
4	2.71828	4.2	-4.2	0.19422	0.58980	0.32930	0.67070
5	2.71828	4.2	-4.2	0.16395	0.75310	0.21770	0.78230
6	2.71828	4.2	-4.2	0.11533	0.86750	0.13294	0.86706
7	2.71828	4.2	-4.2	0.06954	0.93610	0.07428	0.92572
8	2.71828	4.2	-4.2	0.03669	0.97210	0.03774	0.96226
9	2.71828	4.2	-4.2	0.01720	0.98890	0.01740	0.98260
10	2.71828	4.2	-4.2	0.00726	0.99590	0.00729	0.99271
11	2.71828	4.2	-4.2	0.00279	0.99860	0.00279	0.99721
12	2.71828	4.2	-4.2	0.00098	0.99960	0.00098	0.99902
13	2.71828	4.2	-4.2	0.00032	0.99990	0.00032	0.99968
14	2.71828	4.2	-4.2	0.00010	1.00000	0.00010	0.99990
15	2.71828	4.2	-4.2	0.00003	1.00000	0.00003	0.99997

EX 432

Na	e	x	(-x)	p (Na, x)	P (Na,x)	Po	1-Po
0	2.71828	3.6	-3.6	0.02730	0.02730	1.00000	0.00000
1	2.71828	3.6	-3.6	0.10013	0.12570	0.79654	0.20346
2	2.71828	3.6	-3.6	0.17900	0.30270	0.59133	0.40867
3	2.71828	3.6	-3.6	0.21333	0.51520	0.41407	0.58593
4	2.71828	3.6	-3.6	0.19068	0.70640	0.26994	0.73006
5	2.71828	3.6	-3.6	0.13635	0.84410	0.16154	0.83846
6	2.71828	3.6	-3.6	0.08125	0.92670	0.08768	0.91232
7	2.71828	3.6	-3.6	0.04150	0.96920	0.04282	0.95718
8	2.71828	3.6	-3.6	0.01855	0.98830	0.01877	0.98123
9	2.71828	3.6	-3.6	0.00737	0.99600	0.00740	0.99260
10	2.71828	3.6	-3.6	0.00263	0.99870	0.00264	0.99736
11	2.71828	3.6	-3.6	0.00086	0.99960	0.00086	0.99914
12	2.71828	3.6	-3.6	0.00026	0.99990	0.00026	0.99974
13	2.71828	3.6	-3.6	0.00007	1.00000	0.00007	0.99993
14	2.71828	3.6	-3.6	0.00002	1.00000	0.00002	0.99998

Lampiran H. DATA WAKTU TUNGGU

	Waktu Pengangkutan	Waktu Pemuatan	Jumlah <i>Dump Truck</i>	Waktu Tunggu <i>Excavator</i>
	Menit	Menit	Unit	Menit
EX 425	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
	9.21	2.298	8	-6.88
	9.21	2.298	9	-9.18
	9.21	2.298	10	-11.47

	Waktu Pengangkutan	Waktu Pemuatan	Jumlah Alat Angkut	Waktu Tunggu Alat Muat
	Menit	Menit	Unit	Menit
EX 429	7.14	2.304	1	7.14
	7.14	2.304	2	4.83
	7.14	2.304	3	2.53
	7.14	2.304	4	0.23
	7.14	2.304	5	-2.08
	7.14	2.304	6	-4.38
	7.14	2.304	7	-6.69
	7.14	2.304	8	-8.99
	7.14	2.304	9	-11.29
	7.14	2.304	10	-13.60

	Waktu Pengangkutan	Waktu Pemuatan	Jumlah Alat Angkut	Waktu Tunggu Alat Muat
	Menit	Menit	Unit	Menit
EX 430	8.40	2.63	1	8.40
	8.40	2.63	2	5.76
	8.40	2.63	3	3.13
	8.40	2.63	4	0.50
	8.40	2.63	5	-2.13
	8.40	2.63	6	-4.76
	8.40	2.63	7	-7.39
	8.40	2.63	8	-10.03
	8.40	2.63	9	-12.66
	8.40	2.63	10	-15.29

	Waktu Pengangkutan	Waktu Pemuatan	Jumlah Alat Angkut	Waktu Tunggu Alat Muat
	Menit	Menit	Unit	Menit
EX 431	7.71	2.50	1	7.71
	7.71	2.50	2	5.21
	7.71	2.50	3	2.70
	7.71	2.50	4	0.20
	7.71	2.50	5	-2.30
	7.71	2.50	6	-4.81
	7.71	2.50	7	-7.31
	7.71	2.50	8	-9.81
	7.71	2.50	9	-12.32
	7.71	2.50	10	-14.82

	Waktu Pengangkutan	Waktu Pemuatan	Jumlah Alat Angkut	Waktu Tunggu Alat Muat
	Menit	Menit	Unit	Menit
EX 432	7.66	2.51	1	7.66
	7.66	2.51	2	5.15
	7.66	2.51	3	2.64
	7.66	2.51	4	0.14
	7.66	2.51	5	-2.37
	7.66	2.51	6	-4.88
	7.66	2.51	7	-7.39
	7.66	2.51	8	-9.89
	7.66	2.51	9	-12.40
	7.66	2.51	10	-14.91

