



**ANALISIS PRODUKTIVITAS ALAT GALI MUAT  
EXCAVATOR DAN ALAT ANGKUT ADT PADA  
PENAMBANGAN BIJIH EMAS DI PT X MENGGUNAKAN  
METODE ANTREAN**

**SKRIPSI**

Oleh

**Dhini Faizatul Fauziah  
211910901055**

**KEMENTERIAN PENDIDIKAN TINGGI, SAINS, DAN TEKNOLOGI  
UNIVERSITAS JEMBER  
FAKULTAS TEKNIK  
PROGRAM STUDI TEKNIK PERTAMBANGAN  
JEMBER  
2025**



**ANALISIS PRODUKTIVITAS ALAT GALI MUAT  
EXCAVATOR DAN ALAT ANGKUT ADT PADA  
PENAMBANGAN BIJIH EMAS DI PT X MENGGUNAKAN  
METODE ANTREAN**

*diajukan untuk memenuhi sebagian persyaratan memperoleh gelar Sarjana  
pada program studi Teknik Pertambangan*

**SKRIPSI**

**Oleh**

**Dhini Faizatul Fauziah  
211910901055**

**KEMENTERIAN PENDIDIKAN TINGGI, SAINS, DAN TEKNOLOGI  
UNIVERSITAS JEMBER  
FAKULTAS TEKNIK  
PROGRAM STUDI TEKNIK PERTAMBANGAN  
JEMBER  
2025**

**PERSEMBAHAN**

Skripsi ini saya persembahkan untuk:

1. Kedua orang tua saya bapak Ahmad Khusairi, Ibu Kiptiyah dan kakak saya tercinta Sofie Dian Novita Amd.Kep, yang telah memberikan doa serta semangat yang tiada henti selama ini.



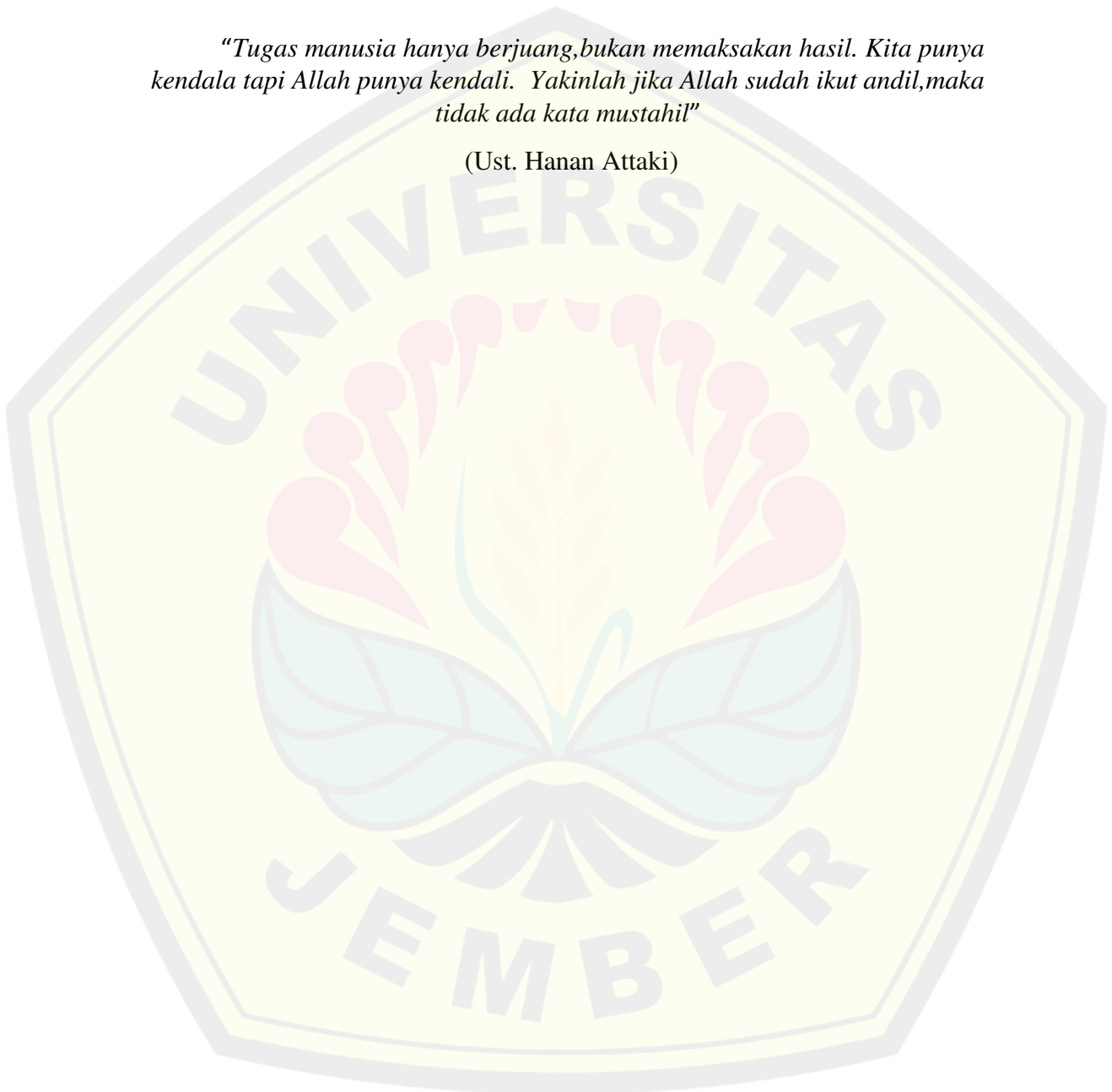
**MOTTO**

*“Dan bersabarlah kamu, sesungguhnya janji Allah adalah benar”*

(Qs. Ar-Ruum:60)

*“Tugas manusia hanya berjuang, bukan memaksakan hasil. Kita punya kendala tapi Allah punya kendali. Yakinlah jika Allah sudah ikut andil, maka tidak ada kata mustahil”*

(Ust. Hanan Attaki)



**PERNYATAAN ORISINALITAS**

Saya yang bertanda tangan di bawah ini :

Nama : Dhini Faizatul Fauziah

NIM : 211910901055

Menyatakan dengan sesungguhnya bahwa karya ilmiah yang berjudul: *Analisis Produktivitas Alat Gali Muat Excavator dan Alat Angkut ADT pada Penambangan Bijih Emas di PT X menggunakan Metode Antrean* adalah benar-benar hasil karya sendiri, kecuali kutipan yang sudah kami sebutkan sumbernya, belum pernah diajukan pada institusi manapun, dan bukan karya jiplakan. Kami bertanggung jawab atas keabsahan dan kebenaran isinya sesuai dengan sikap ilmiah yang harus dijunjung tinggi.

Demikian pernyataan ini kami buat dengan sebenar-benarnya, tanpa ada tekanan dan paksaan dari pihak manapun, serta bersedia mendapat sanksi akademik jika ternyata dikemudian hari pernyataan ini tidak benar.

Jember, 16 Juni 2025

Yang menyatakan



Dhini Faizatul Fauziah

NIM. 211910901055

**HALAMAN PERSETUJUAN**

Skripsi berjudul *Analisis Produktivitas Alat Gali Muat Excavator dan Alat Angkut ADT pada Penambangan Bijih Emas di PT X menggunakan Metode Antrean* telah diuji dan disetujui oleh Fakultas Teknik Universitas Jember pada:

Hari : Senin  
Tanggal : 16 Juni 2025  
Tempat : Fakultas Teknik Universitas Jember

**Pembimbing**

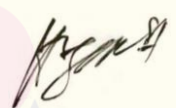
1. Pembimbing Utama  
Nama : Ir. Januar Fery Irawan, S.T., M.Eng.  
NIP : 197601112000121002
2. Pembimbing Anggota  
Nama : Rina Lestari, S.Si., M.T.  
NIP : 199002082023212049

**Tanda Tangan**

(  )  
(  )

**Penguji**

1. Penguji Utama  
Nama : Ir. Siti Aminah, S.Si., M.T.  
NIP : 198803232022032011
2. Penguji Anggota  
Nama : Ir. Haeruddin, S.Si., M.T.  
NIP : 199001012019031016

(  )  
(  )

**ABSTRAK**

*PT X is a gold mining company in Java utilizing Cat 6015B excavators and Articulated Dump truck (ADT) 745 units to support its ore production activities. The company's monthly production target of 1.424.000.000 BCM has not been achieved, with actual excavator output reaching 711.789.193 BCM and truck production at 731.278.095 BCM out of the 850.000.000 BCM target. This study aims to analyze the productivity of loading and hauling equipment and identify the causes of underperformance using a queueing method approach. The research was conducted through field observation, primary and secondary data collection, and processing of cycle time, equipment efficiency, bucket fill factor, swell factor, and match factor. The results show that work efficiency was 56%, categorized as poor, and the match factor was 1,8, indicating an imbalance between equipment capacities. Technical obstacles such as operator delays, poor haul road conditions, and weather disruptions were found to be the main contributors. Simulation using a multi-server queueing model (M/M/2) and the addition of one excavator unit significantly improved equipment harmony and productivity. This study concludes that the queueing method is effective in analyzing and optimizing the heavy equipment system and provides practical recommendations for improving production performance.*

**Keywords:** *Equipment productivity, Queueing method, Match factor, Operational efficiency, Gold ore mining.*

## RINGKASAN

**Analisis Produktivitas Alat Gali Muat *Excavator* dan Alat Angkut ADT pada Penambangan Bijih Emas di PT X Menggunakan Metode Antrean;**

Dhini Faizatul Fauziah; 2025; Program Studi Teknik Pertambangan, Fakultas Teknik, Universitas Jember.

Penelitian ini dilakukan di PT X, sebuah perusahaan pertambangan emas yang berlokasi di Jawa Timur. Perusahaan menggunakan alat gali muat *Excavator Cat 6015B* dan alat angkut *ADT 745* dalam kegiatan penambangan bijih emas. Berdasarkan data produksi, diketahui bahwa pencapaian produksi aktual alat belum mencapai target. *Excavator* hanya mencapai 711.789.193 BCM atau 50% dari target, sedangkan *ADT* mencapai 731.278.095 BCM atau 86% dari target. Hal ini menunjukkan adanya ketidakseimbangan kerja antara alat gali muat dan alat angkut.

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis produktivitas aktual alat, mengetahui keserasian kerja alat gali muat dan angkut, serta memberikan solusi peningkatan produktivitas melalui metode antrean. Pengumpulan data dilakukan dengan observasi lapangan dan dokumentasi, meliputi data waktu edar (*cycle time*), efisiensi kerja, *bucket fill factor*, *swell factor*, dan *match factor*. Metode analisis yang digunakan adalah teori antrean model *multi-server (M/M/2)* untuk mensimulasikan sistem kerja alat gali muat dan alat angkut.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa efisiensi kerja hanya sebesar 56% (kategori buruk), dan nilai *match factor* awal sebesar 1,8 yang menunjukkan tidak seimbang jumlah alat. Setelah dilakukan simulasi dengan penambahan satu unit *excavator*, nilai *match factor* menjadi 0,9 (seimbang), dan produksi *excavator* meningkat menjadi 1.423.578.387 BCM/bulan atau 100% dari target. *ADT* tidak perlu penambahan unit karena telah mendekati target. Hambatan utama yang memengaruhi efisiensi kerja antara lain adalah kondisi operator, cuaca, dan jalan tambang yang licin.

Kesimpulan dari penelitian ini adalah bahwa penerapan metode antrean efektif dalam meningkatkan keserasian kerja antara alat gali muat dan alat angkut,

serta meningkatkan produktivitas hingga mencapai target. Penambahan satu unit *excavator* menjadi solusi untuk mengoptimalkan sistem kerja alat berat. Penelitian ini dapat menjadi acuan dalam strategi peningkatan efisiensi operasional tambang ke depan.



## PRAKATA

Puji syukur kehadirat Tuhan Yang Maha Esa atas limpahan Rahmat dan Nikmat-Nya, sehingga saya dapat menyelesaikan skripsi dengan baik dengan judul “*Analisis Produktivitas Alat Gali Muat Excavator dan Alat Angkut ADT pada Penambangan Bijih Emas di PT X menggunakan Metode Antrean*”. Penyusunan skripsi ini dimaksudkan untuk memenuhi sebagian syarat-syarat guna mencapai gelar Sarjana Teknik di Universitas Jember.

Penulis menyadari bahwa penulisan ini tidak dapat terselesaikan tanpa dukungan dari berbagai pihak baik moril maupun materil. Oleh karena itu, penulis ingin menyampaikan ucapan terima kasih kepada semua pihak yang telah membantu dalam penyusunan skripsi ini terutama kepada:

1. Bapak Dr. Ir. Triwahju Hardianto, S.T., M.T. selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Jember.
2. Bapak Ir. Januar Fery Irawan, S.T., M.Eng. selaku Dosen Pembimbing Utama sekaligus Dosen Pembimbing Akademik dan Ibu Rina Lestari S.Si., M.T. selaku Dosen Pembimbing Anggota yang telah membimbing dan memberi motivasi selama proses penyusunan tugas akhir ini.
3. Ibu Siti Aminah, S.Si., M.T. selaku Dosen Penguji Utama dan Bapak Haeruddin, S.Si., M.T. selaku Dosen Penguji Anggota yang telah memberi saran dan masukan dalam menyempurnakan skripsi ini.
4. Bapak Aljhon, Ibu Ayu, Ibu Yanti, dan Ibu Chintia yang telah memberikan pengalaman berharga serta pengarahan selama proses magang dan pengambilan data tugas akhir.
5. Gayuh Natha Sasmita, Stevie Menno Kristi Watimury, Elsa Al-Fitria Rifgi Putri dan Afivah Amaliah Febrianti selaku teman ngopi, sekaligus teman yang memberikan motivasi serta semangat dalam menyelesaikan skripsi ini.

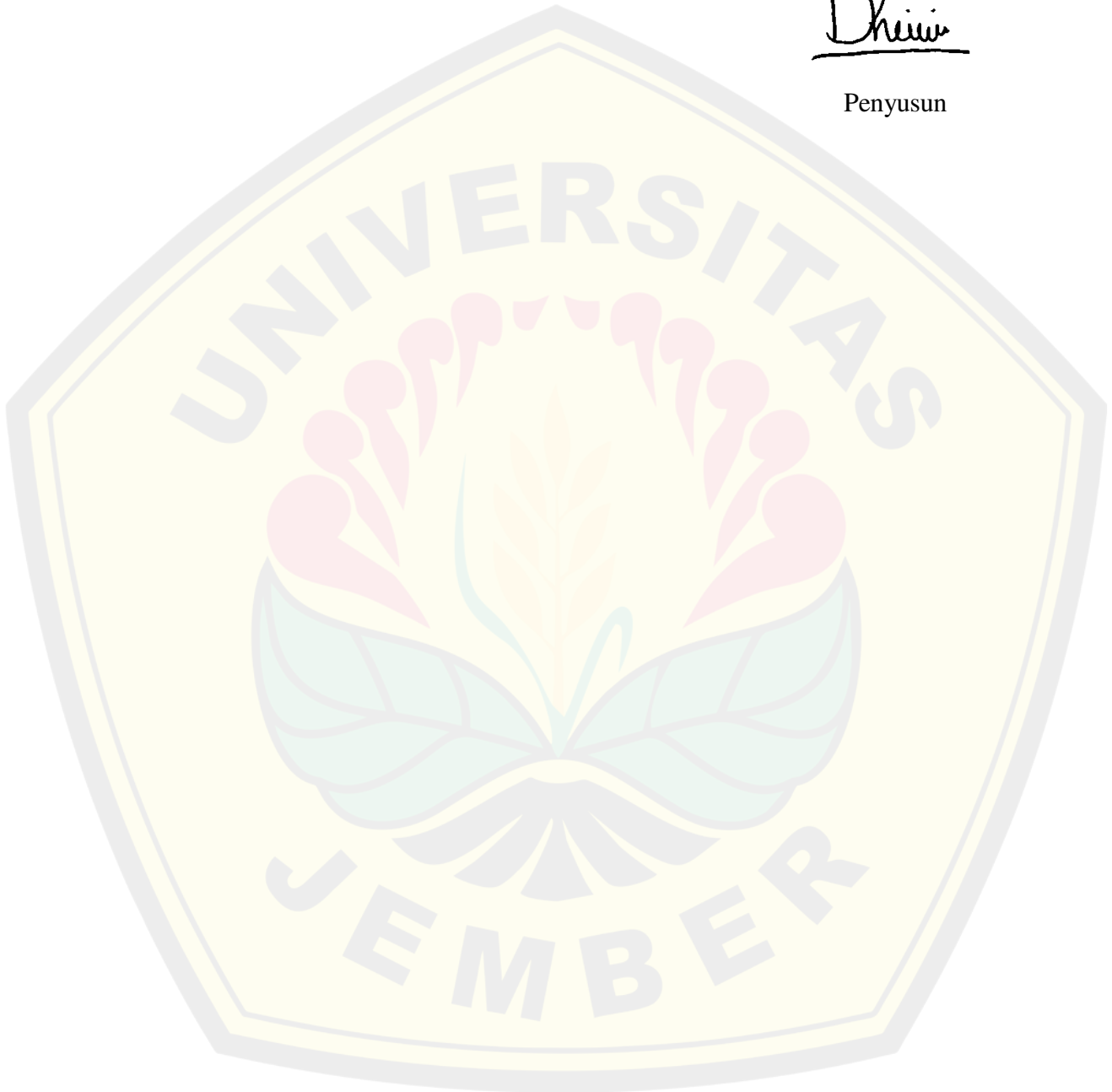
Penulis menyadari bahwa skripsi ini masih memiliki kekurangan yang disebabkan oleh keterbatasan pengalaman dan pengetahuan yang di miliki. Oleh karena itu, penulis terbuka untuk menerima berbagai saran, masukan, serta kritik

yang membangun dari berbagai pihak. Harapan penulis yaitu skripsi ini dapat bermanfaat bagi pembaca dan semua pihak yang berkepentingan terutama di bidang pertambangan.

16 Juni 2025

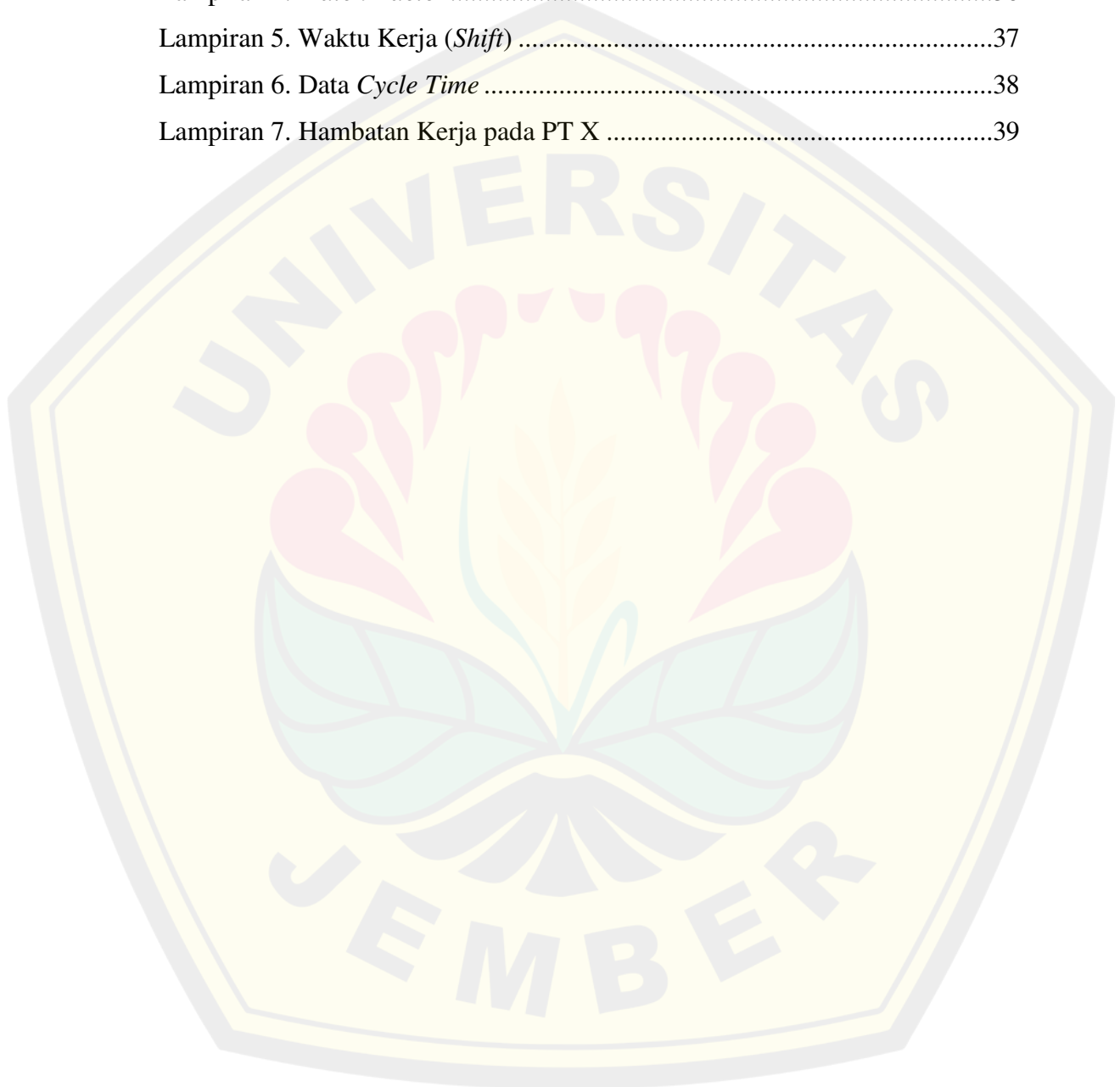


Penyusun



**HALAMAN LAMPIRAN**

Lampiran 1. Spesifikasi <i>Excavator Cat 6015B</i> .....	33
Lampiran 2. Spesifikasi <i>Articulate Dump truck 745</i> .....	34
Lampiran 3. Produktivitas Alat Gali Muat dan Alat Angkut.....	35
Lampiran 4. <i>Match Factor</i> .....	36
Lampiran 5. Waktu Kerja ( <i>Shift</i> ) .....	37
Lampiran 6. Data <i>Cycle Time</i> .....	38
Lampiran 7. Hambatan Kerja pada PT X .....	39



**DAFTAR NOTASI**

MA	: <i>mechanical availability</i>
PA	: <i>physical availability</i>
UA	: <i>use of availability</i>
EU	: <i>effective Utilization</i>
R	: <i>repair hours</i>
MF	: <i>match factor</i>
W	: <i>working hours</i>
S	: <i>standby hours</i>
BCM	: <i>bank cubic meter</i>
ADT	: <i>articulated dump truck</i>
Q	: <i>produktivitas</i>
C <sub>tm</sub>	: <i>cycle time (menit) / waktu siklus alat gali muat</i>
C	: <i>bucket capacity (m<sup>3</sup>)</i>
BFF	: <i>bucket fill factor (%)</i>
EFF	: <i>efisiensi kerja (%)</i>
SF	: <i>swell factor</i>
P	: <i>produktivitas</i>
n	: <i>banyaknya pengisian</i>
K <sub>b</sub>	: <i>kapasitas bucket</i>
C <sub>t</sub>	: <i>cycle time dump truck</i>
N <sub>a</sub>	: <i>jumlah alat angkut</i>
N <sub>m</sub>	: <i>jumlah alat gali muat</i>
N	: <i>banyaknya pengisian tiap 1 alat angkut</i>
C <sub>ta</sub>	: <i>waktu siklus alat gali angkut</i>
T <sub>1</sub> (μ <sub>1</sub> )	: <i>loading</i>
T <sub>2</sub> (μ <sub>2</sub> )	: <i>waktu perjalanan alat angkut bermuatan</i>
T <sub>3</sub> (μ <sub>3</sub> )	: <i>waktu dumping</i>
T <sub>4</sub> (μ <sub>4</sub> )	: <i>waktu kembali ke area loading tanpa muatan</i>

DAFTAR ISI

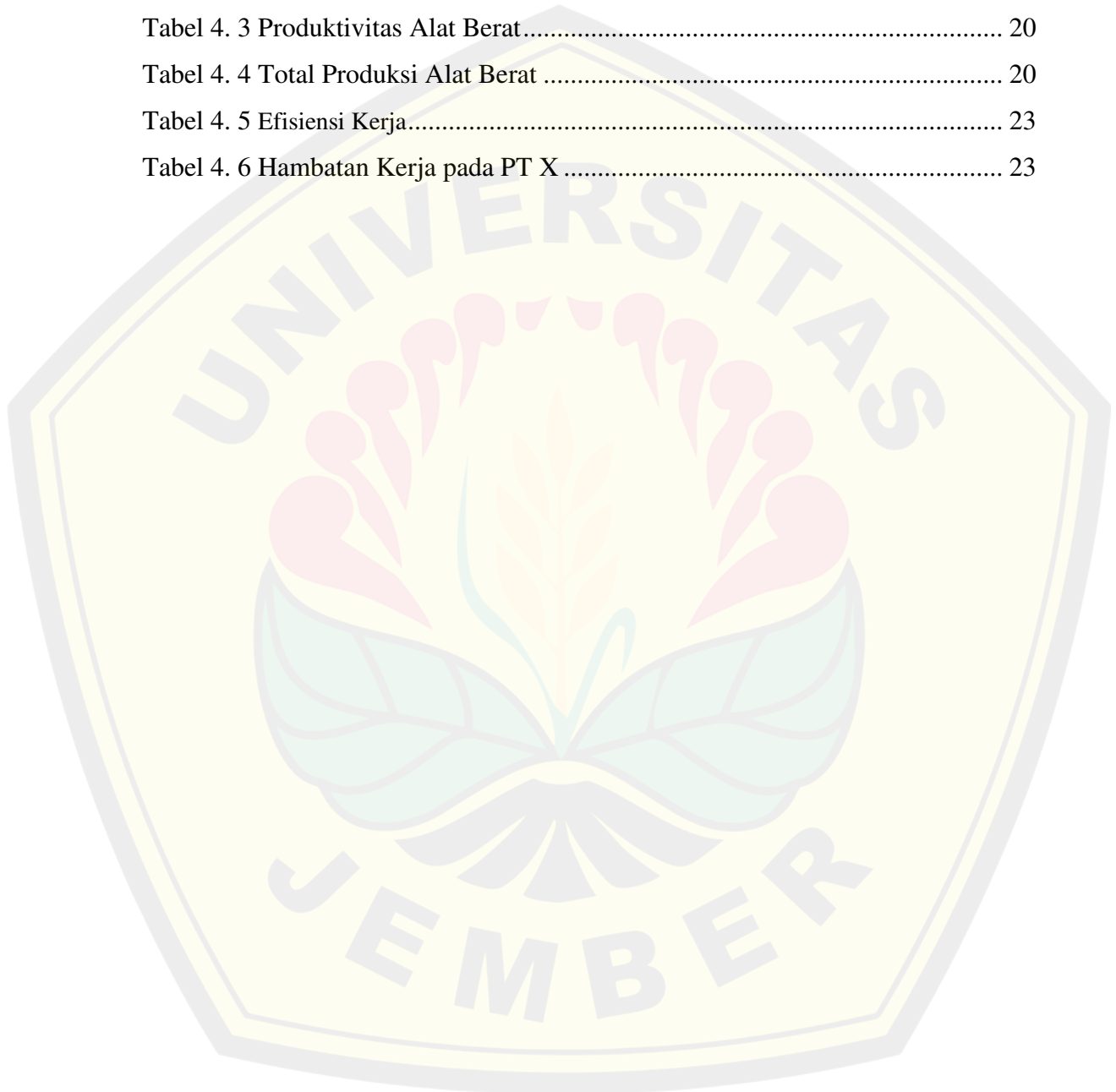
HALAMAN JUDUL .....	i
PERSEMBAHAN.....	ii
MOTTO .....	iii
PERNYATAAN ORISINALITAS.....	iv
HALAMAN PERSETUJUAN .....	v
ABSTRAK .....	vi
RINGKASAN .....	vii
PRAKATA.....	ix
HALAMAN LAMPIRAN.....	xi
DAFTAR NOTASI.....	xii
DAFTAR ISI.....	xiii
DAFTAR TABEL .....	xvi
DAFTAR GAMBAR.....	xvii
<b>BAB 1. PENDAHULUAN .....</b>	<b>1</b>
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Rumusan Masalah .....	2
1.3 Batasan Penelitian .....	2
1.4 Tujuan Penelitian.....	3
1.5 Manfaat Penelitian.....	3
<b>BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA.....</b>	<b>4</b>
2.1 Genesa Emas .....	4
2.2 Penambangan Tambang Terbuka ( <i>Open Pit</i> ) .....	5
2.3 Pengertian Alat Berat .....	5
2.3.1 Alat Gali Muat.....	5
2.3.2 Alat Angkut.....	6

2.4	Produktivitas Alat Gali Muat dan Alat Angkut.....	7
2.4.1	Produktivitas Alat Gali Muat .....	7
2.4.2	Produktivitas Alat Angkut.....	7
2.5	Faktor yang Mempengaruhi Produktivitas Alat Gali Muat & Angkut .	8
2.5.1	Faktor Keserasian Kerja ( <i>Match Factor</i> ) .....	8
2.5.2	Faktor Pengisian Mangkuk ( <i>Bucket Fill Factor</i> ) .....	9
2.5.3	Faktor Pengembangan ( <i>Swell Factor</i> ).....	9
2.5.4	Waktu Edar ( <i>Cycle Time</i> ).....	9
2.6	Teori Antrean .....	10
2.7	Probabilitas Keadaan Antrean.....	10
<b>BAB 3.</b>	<b>METODOLOGI PENELITIAN.....</b>	<b>12</b>
3.1	Lokasi dan Waktu Penelitian.....	12
3.1.1	Lokasi Penelitian .....	12
3.1.2	Waktu Penelitian .....	12
3.2	Sumber Data.....	13
3.2.1	Data Primer.....	13
3.2.2	Data Sekunder .....	13
3.3	Tahapan Penelitian .....	13
3.4	Diagram Alir Penelitian .....	15
<b>BAB 4.</b>	<b>HASIL DAN PEMBAHASAN.....</b>	<b>16</b>
4.1	Produktivitas Alat Gali Muat dan Alat Angkut.....	16
4.1.1	Waktu Edar Alat Gali Muat.....	16
4.1.2	Waktu Edar Alat Angkut .....	16
4.1.3	Faktor Pengembangan ( <i>Swell Factor</i> ).....	17
4.1.4	Faktor Pengisian Mangkuk ( <i>Bucket Fill Factor</i> ) .....	17
4.1.5	Efisiensi Kerja.....	17
4.1.6	Perhitungan Produktivitas Alat Gali Muat dan Alat Angkut .....	19
4.2	Total Produksi Alat Gali Muat dan Alat Angkut .....	20
4.3	<i>Match Factor</i> sebelum Metode Antrean .....	20
4.4	Penentuan Tingkat Pelayanan .....	21

4.4.1 Pelayanan <i>Loading</i> .....	21
4.4.2 Pengantaran material ke <i>stockpile</i> .....	21
4.4.3 Proses <i>Dumping</i> .....	22
4.4.4 Kembali ke area <i>loading</i> tanpa muatan .....	22
4.5 Faktor yang Mempengaruhi Ketercapaian Alat Gali Muat & Angkut.	23
4.5.1 Efisiensi Kerja.....	23
4.5.2 Hambatan Kerja.....	23
4.5.3 Penentuan Model Antrean.....	24
4.6 Produktivitas setelah diterapkannya Metode Antrean.....	24
4.6.1 <i>Match Factor</i> (MF) setelah menggunakan Metode Antrean.....	25
4.6.2 Simulasi Penambahan 1 <i>Excavator</i> ( <i>Multi Server M/M/2</i> ).....	26
<b>BAB 5. KESIMPULAN DAN SARAN .....</b>	<b>28</b>
5.1 Kesimpulan.....	28
5.2 Saran.....	28
<b>DAFTAR PUSTAKA .....</b>	<b>30</b>
<b>LAMPIRAN-LAMPIRAN .....</b>	<b>32</b>

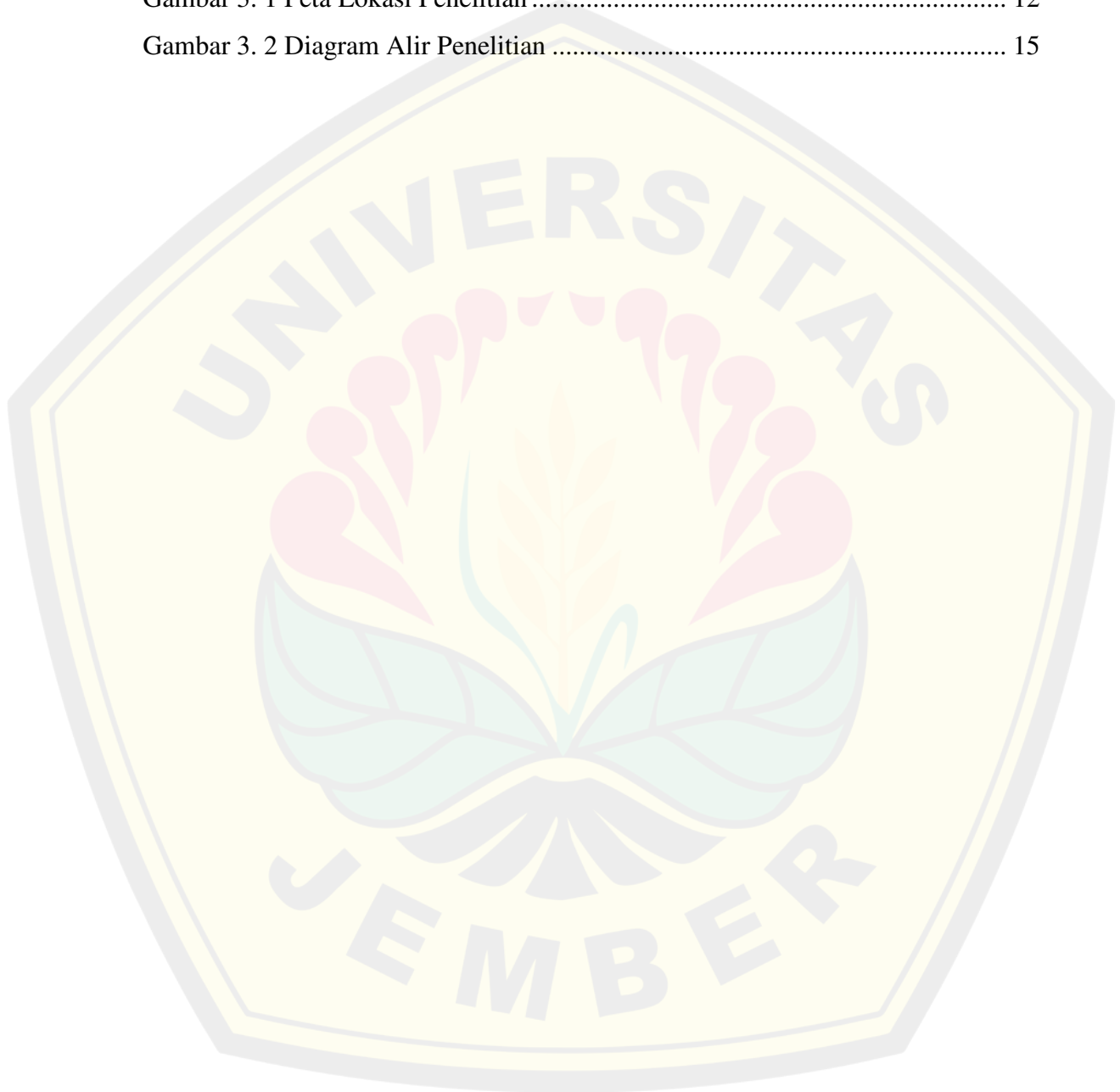
**DAFTAR TABEL**

Tabel 3. 1 <i>Timeline</i> penelitian dan pengolahan data di PT X .....	12
Tabel 4. 1 Waktu Edar Alat Gali Muat .....	16
Tabel 4. 2 Waktu Edar Alat Angkut.....	16
Tabel 4. 3 Produktivitas Alat Berat.....	20
Tabel 4. 4 Total Produksi Alat Berat .....	20
Tabel 4. 5 Efisiensi Kerja.....	23
Tabel 4. 6 Hambatan Kerja pada PT X .....	23



**DAFTAR GAMBAR**

Gambar 2. 1 <i>Open Pit Mining</i> .....	5
Gambar 2. 2 Alat Gali Muat.....	6
Gambar 2. 3 ADT.....	6
Gambar 3. 1 Peta Lokasi Penelitian .....	12
Gambar 3. 2 Diagram Alir Penelitian .....	15



## BAB 1. PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

PT X adalah perusahaan yang bergerak di bidang pertambangan emas yang berlokasi di Pulau Jawa dengan luas area pertambangan mencapai sekitar 6.000 Ha. PT X menggunakan alat berat seperti *Excavator Cat 6015B* dan *Articulate Dump truck (ADT) 745* untuk mendukung penambangan bijih emas. PT X saat ini menargetkan produksi bijih emas pada *excavator* sebesar 1.424.000.000 BCM/bulan. Berdasarkan dari target perusahaan, alat *Excavator Cat 6015B* hanya mampu mencapai sebesar 711.789.193 atau sekitar 50% dari target, dan *Articulate Dump truck (ADT) 745* sebesar 731.278.095 BCM/bulan dari target 850.000.000 BCM/bulan atau 86% yang hampir mencapai target. Ketidaktercapaian produksi ini berpengaruh pada optimalnya operasional pada perusahaan.

Produksi merupakan suatu kegiatan yang menghasilkan barang dari proses yang dilakukan, dalam pertambangan produksi adalah mengangkut material dari dalam bumi sehingga menghasilkan suatu bahan galian berharga yang dapat diolah ke tahap selanjutnya. Sedangkan produktivitas adalah kelancaran alat-alat yang digunakan dalam tahapan proses produksi. Produksi akan tercapai apabila produktivitas alat bekerja dengan baik dan efisien (Putrawiyanta, 2024).

Metode yang digunakan yaitu Metode Antrean, teori antrean membahas dinamika sistem tunggu, termasuk panjang barisan, waktu tunggu, dan karakteristik layanan dalam proses tersebut. Pendekatan ini memungkinkan penentuan jumlah peralatan yang optimal untuk digunakan dalam proses operasional di tambang sehingga kebutuhan produksi dapat dipenuhi dengan penggunaan alat angkut dan alat muat yang efisien. Teori Antrean dapat digunakan untuk memprediksi biaya pemuatan dan pengangkutan minimum serta jumlah truk yang optimal untuk digunakan (Anas dkk, 2022).

Saputra dkk (2023) *OEE* adalah indikator yang digunakan untuk menilai kinerja mesin atau alat berdasarkan tiga faktor utama : ketersediaan, kinerja, dan kualitas. Aziz dkk (2020) *Metode survey* untuk mengumpulkan data terkait dengan kondisi aktual di lapangan, seperti volume material yang digali dan dimuat

oleh alat gali muat, serta waktu yang dibutuhkan untuk proses penggalian dan pemuatan. Muzaffar, M. D., & Saldy, T. G. (2023) berdasarkan hasil analisis menggunakan metode *match factor* dan teori antrean, diketahui bahwa keterpaduan antara alat mempunyai pengaruh signifikan untuk pencapaian target produksi

Melalui analisis antrean, peneliti dapat menentukan jumlah truk optimal yang dibutuhkan untuk mencapai target produksi dengan meminimalkan waktu tunggu antara alat gali muat dan truk angkut. Metode ini juga membantu mengidentifikasi kapasitas produksi yang lebih realistis dan mendekati target perusahaan, dengan perhitungan menunjukkan bahwa penambahan unit angkut sesuai perhitungan antrean dapat meningkatkan kapasitas produksi. Penelitian ini memiliki perbedaan yang signifikan dibandingkan dengan penelitian terdahulu, yang dapat mengkaji skenario sistem *multi-server* atau penambahan unit alat gali muat sebagai solusi sistematis terhadap *bottleneck* produksi, juga mempertimbangkan interaksi dinamis antar alat dalam satu sistem operasi.

## **1.2 Rumusan Masalah**

Rumusan masalah pada penelitian Tugas Akhir ini sebagai berikut:

1. Bagaimana keserasian kerja alat gali muat dan alat angkut pada kegiatan pengangkutan bijih emas pada PT X?
2. Bagaimana pencapaian produksi pengangkutan bijih emas menggunakan metode antrean pada PT X?
3. Bagaimana faktor-faktor teknis yang mempengaruhi ketercapaian produksi pada PT X?

## **1.3 Batasan Penelitian**

Batasan masalah pada penelitian ini sebagai berikut.

1. Penelitian hanya dilakukan dalam satu fleet.
2. Tidak membahas faktor ekonomi, geotek, dan geologi.
3. Juga tidak membahas pola pemuatan.
4. Dan tidak membahas probabilitas keadaan antrean

#### **1.4 Tujuan Penelitian**

Tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Menganalisis nilai keserasian kerja alat gali muat dan alat angkut yang digunakan pada kegiatan pengangkutan bijih emas pada PT X.
2. Menganalisis kemampuan produksi dari alat gali muat dan alat angkut yang digunakan pada kegiatan pengangkutan bijih emas menggunakan metode antrean pada PT X.
3. Menganalisis faktor teknis ketercapaian produktivitas bijih emas pada PT X.

#### **1.5 Manfaat Penelitian**

Adapun beberapa manfaat yang dapat diambil dari penelitian ini yaitu :

1. Manfaat Bagi Peneliti  
Peneliti dapat menerapkan ilmu, belajar mengatasi masalah, dan memperoleh data untuk Tugas Akhir.
2. Manfaat Bagi Universitas  
Manfaat dari penelitian ini adalah memperkuat hubungan antara institusi pendidikan dan sektor industri melalui penerapan hasil kajian di lapangan kerja.
3. Manfaat bagi Perusahaan  
Penelitian dapat memberikan rekomendasi dan referensi tentang peningkatan produktivitas pada alat yang tidak mencapai target produksi dengan metode Antrean.

## BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1 Genesa Emas

Secara umum, emas dapat ditemukan di celah-celah batu kuarsa serta dalam wujud mineral yang berasal dari aktivitas magmatisme dan vulkanisme, yang disebabkan oleh temperatur tinggi di dalam bumi. Beberapa tipe endapan terbentuk melalui proses kontak metasomatisme dan solusi hidrotermal. Endapan ini terjadi akibat interaksi antara kontak metasomatisme dan proses hidrotermal, yang menghasilkan tubuh bijih yang kaya akan silikon dioksida. Cebakan emas primer umumnya memiliki pola penyebaran yang mirip dengan urat di dalam batuan beku, yang kaya akan besi dan terkait dengan urat kuarsa. Cebakan primer adalah cebakan yang terbentuk bersamaan dengan proses pembentukan batuan itu sendiri. Tipe mineral yang termasuk dalam kategori ini bervariasi, termasuk bijih logam, perak, tembaga, mangan, timbal, dan lainnya. Cebakan primer dapat muncul dalam bentuk urat atau porfiri (Sari, 2020).

Kegiatan penambangan emas disesuaikan dengan bentuk, distribusi, lokasi bahan tambang dan juga mempertimbangkan keadaan tanah penutup atau batuan induk serta batuan di sekitarnya, serta situasi struktur geologi (Syafira, 2015). Berdasarkan jenis endapannya, tambang emas dapat dikelompokkan menjadi dua kategori, yaitu endapan emas sekunder dan primer. Endapan emas sekunder biasanya memiliki potensi yang lebih rendah dibandingkan dengan endapan emas primer. Penambangan endapan sekunder dapat dilakukan dengan metode sederhana secara terbuka, melalui sistem pendulangan, atau menggunakan teknik tambang semprot yang melibatkan banyak tenaga kerja (padat karya), tanpa perlu alat berat dan teknologi canggih serta investasi yang besar, kecuali jika endapannya sangat luas. Sebaliknya, endapan emas primer membutuhkan investasi yang besar dan teknologi yang lebih maju (Siallagan et al., 2010). Kekerasan emas, yang diukur pada skala *Mohs*, memiliki nilai 2,5 hingga 3,0, menjadikannya cukup lunak dibandingkan dengan banyak mineral lainnya.

## 2.2 Penambangan Tambang Terbuka (*Open Pit*)

Penambangan tambang terbuka (*Open Pit*) didefinisikan sebagai metode penggalian endapan bijih di dekat permukaan menggunakan satu atau lebih horizontal untuk mengekstrak bijih sambil membuang lapisan tanah penutup dan tailing (limbah) di lokasi pembuangan tertentu di luar batas tambang akhir. Penambangan tambang terbuka digunakan untuk mengekstrak bijih logam dan nonlogam. Penambangan tambang terbuka dianggap berbeda dari penggalian dalam arti bahwa penambangan secara selektif mengekstrak bijih daripada agregat atau produk batu berdimensi. Penambangan tambang terbuka diterapkan pada tubuh bijih yang tersebar atau urat atau lapisan yang miring tajam di mana kemajuan penambangan menuju peningkatan kedalaman. Penimbunan kembali biasanya terjadi hingga tambang selesai; bahkan saat itu, biaya tinggi untuk mengisi lubang-lubang ini dengan semua limbah yang dibuang pada akhir masa tambang akan sangat membahayakan ekonomi proyek. Beberapa lubang tambang terbuka besar di dunia dapat mendukung hambatan yang mahal seperti itu. Metode tambang terbuka biasanya tidak selektif, dan mencakup semua zona kadar tinggi dan rendah; sedangkan tingkat penambangan hampir lebih dari 20.000 ton yang ditambang per hari dan sering kali memerlukan investasi awal yang besar, namun sebanding dengan hasilnya yang mencakup produktivitas tinggi, efisiensi biaya, dan kondisi kerja yang aman. (Alrawashdeh,2021). Gambar *Open Pit Mining* dapat dilihat pada gambar 2.1



Gambar 2. 1 *Open Pit Mining* (PT X)

## 2.3 Pengertian Alat Berat

### 2.3.1 Alat Gali Muat

*Excavator* adalah mesin berat yang terdiri dari sebuah batang atas lengan (arm), tongkat (bahu), boom, dan keranjang atau *bucket* yang berfungsi untuk menggali. Alat ini dioperasikan dengan tenaga hidrolik yang digerakkan oleh mesin diesel dan berjalan di atas roda rantai (Oemiati, 2020). Gambar Alat Gali Muat pada gambar 2.2



Gambar 2.2 Alat Gali Muat (PT X)

### 2.3.2 Alat Angkut

*Articulate Dump truck* (ADT) 745 dibuat khusus untuk memindahkan material berat, seperti agregat, tanah, dan bahan tambang atau konstruksi lainnya di lokasi konstruksi atau pertambangan. Salah satu keunggulan utama dari ADT ini adalah kemampuannya untuk beroperasi di medan yang sulit. Dengan suspensi yang kokoh dan ban yang dirancang khusus untuk *off-road*, truk ini dapat menavigasi medan yang berbatu, berpasir, atau berlumpur dengan mudah. *Articulation joint* memungkinkan truk untuk berbelok dengan radius yang lebih kecil dibandingkan dengan truk konvensional, membuatnya lebih fleksibel di medan yang sempit atau berbelok. Gambar *Articulate Dump truck* dapat dilihat pada gambar 2.3



Gambar 2.3 *Articulate Dump truck* (PT X)

## 2.4 Produktivitas Alat Gali Muat dan Alat Angkut

### 2.4.1 Produktivitas Alat Gali Muat

Menurut L. Greenberg dalam Sinungan (2008) mendefinisikan produktivitas dapat diartikan sebagai perbandingan antara total pengeluaran (*output*) pada waktu tertentu dibagi dengan total masukan (*input*) selama periode yang sama. Dengan demikian, produktivitas memiliki dua aspek. Aspek pertama adalah efektivitas, yang berfokus pada pencapaian sasaran yang berhubungan dengan jumlah, mutu, dan waktu. Selanjutnya, ada efisiensi, yang berhubungan dengan usaha untuk membandingkan input dengan pelaksanaan penggunaannya atau bagaimana tugas tersebut dilaksanakan. Rumus produktivitas alat gali muat dapat dilihat pada rumus 2.1

$$Q = \frac{3600}{ctm} \times (C \times BFF \times EFF \times SF) \quad (2.1)$$

Keterangan :

- Q = Produktivitas ( $m^3/jam$ )
- Ctm = Waktu Edar (*detik*)
- C = Volume mangkuk ( $m^3$ )
- BFF = Faktor pengisian alat (%)
- EFF = Efisiensi kerja (%)
- SF = Faktor pengembangan

### 2.4.2 Produktivitas Alat Angkut

Produktivitas adalah produksi yang dihasilkan alat gali muat dihitung dalam jam (produksi/jam). Dimana : Q = produksi per jam (bcm/jam), q = produksi per siklus (bcm/siklus) E = efisiensi kerja alat (%) dan CT = waktu siklus alat angkut (detik) alat yaitu efisiensi alat diperhitungkan berdasarkan rumus 2.2

$$Q = \frac{3600}{Cta} \times (Cam \times EFF \times SF) \quad (2.2)$$

$$Cam = n \times C \times BFF \quad (2.3)$$

Keterangan :

- Q = Produktivitas ( $ton/jam$ )
- Cta = Waktu Edar (*detik*)

Cam	= Volume bak alat angkut ( $m^3$ )
n	= Jumlah pengisian mangkuk ( <i>bucket</i> ) penuh alat angkut
C	= Kapasitas baku alat gali-muat
BFF	= Faktor pengisian (%)
EFF	= Efisiensi kerja (%)
SF	= <i>Swell Factor</i>

## 2.5 Faktor-faktor yang mempengaruhi Produktivitas Alat Gali Muat dan Alat Angkut

Adapun beberapa faktor yang dapat mempengaruhi seperti faktor keserasian kerja alat (*match factor*), faktor pengisian mangkuk (*bucket fill factor*), faktor pengembangan (*swell factor*), dan waktu edar (*cycle time*).

### 2.5.1 Faktor Keserasian Kerja Alat (*Match Factor*)

*Match Factor* merupakan keselarasan fungsi antara alat pengangkat dan alat transportasi. Nilai dari faktor keselarasan fungsi untuk setiap rangkaian kerja alat mesin yang digunakan ditetapkan berdasarkan pengamatan data waktu berputar dan jumlah alat mesin yang terlibat dalam setiap rangkaian kerja tersebut. Keselarasan fungsi alat pengangkat dan alat transportasi dapat diketahui melalui rumus 2. 4

$$MF = \frac{Na (n \times Ctm)}{Nm \times Cta} \quad (2.4)$$

Keterangan :

Na = Jumlah *dump truck* (*unit*)

Nm = Jumlah *excavator* (*unit*)

N = Banyaknya pengisian hingga penuh dalam satu *dump truck*

Cta = Waktu edar *dump truck* (*detik*)

Ctm = Waktu edar alat *excavator* (*detik*)

Nilai MF didapatkan hasil sebagai berikut :

1.  $MF < 1$ , *excavator* tidak optimal bekerja di bawah 100%, *dump truck* bekerja 100% sehingga menyebabkan waktu tunggu pada *excavator* karena alat *dump truck* belum datang.

2.  $MF = 1$ , *excavator* dan *dump truck* sudah sesuai yaitu 100%, waktu tunggu tidak ada pada kedua alat.
3.  $MF > 1$ , *excavator* bekerja 100%, namun *dump truck* bekerja tidak optimal yaitu di bawah 100% sehingga menyebabkan waktu tunggu pada *dump truck*.

#### 2.5.2 Faktor Pengisian Mangkuk (*Bucket Fill Factor*)

Besar nilai isian mangkuk (*bucket fill factor*) tergantung dari jenis material yang akan digali. Faktor isian mangkuk dapat dirumuskan seperti rumus 2.5

$$\text{Bucket fill factor} = \frac{\text{Volume nyata}}{\text{Volume baku}} \times 100\% \quad (2.5)$$

#### 2.5.3 Faktor Pengembangan (*Swell Factor*)

Pengembangan dan penyusutan volume material terjadi ketika suatu material mengalami gangguan dari bentuk aslinya, baik dalam bentuk penambahan maupun pengurangan volume. Secara alami, material berada dalam keadaan padat dan terkonsolidasi, dengan pori-pori antar butir yang sebagian besar hanya berisi udara. Ketika material ini dibongkar dari kondisi aslinya, umumnya akan mengalami peningkatan volume atau yang dikenal dengan istilah *swell*. Untuk menggambarkan besarnya perubahan ini digunakan dua parameter utama, yaitu *swell factor* dan *percent swell*. Pemahaman terhadap karakteristik pengembangan ini sangat penting, karena perhitungan volume pada proses penggalian didasarkan pada volume asli dalam tanah (*bank volume*), sementara material yang dikerjakan di lapangan berada dalam kondisi yang sudah mengalami pengembangan volume (*loose volume*) (Irfan, 2021). (Irfan, 2021).

#### 2.5.4 Waktu Edar (*Cycle Time*)

Waktu yang diperlukan oleh mesin untuk menyelesaikan satu siklus tugas. Durasi kerja dipengaruhi oleh bagian-bagian yang ada di dalamnya dan waktu yang diperlukan oleh masing-masing bagian tersebut (Irfan, 2021). Bisa dihitung dengan rumus 2. 6

$$Ct = a + b + c + d \quad (2.6)$$

Keterangan :

a = Waktu penggalian (*digging time*)

- b = Waktu mengayun kondisi penuh (*swing time full*)
- c = Waktu membuang muatan (*dumping time*)
- d = Waktu mengayun kondisi kosong (*swing time empty*)

Waktu yang dibutuhkan alat transportasi adalah durasi dari proses pengisian hingga pembongkaran yang diperlukan oleh suatu alat. Ini meliputi pengisian material dengan alat gali dan transportasi, kemudian pembuangan material dan kembalinya alat transportasi ke lokasi alat gali serta pengisian untuk siklus berikutnya. Ini dapat dinyatakan dengan rumus 2. 7

$$Ct = Lt + Htf + Dt + The \quad (2.7)$$

Keterangan :

- Lt = *Loading time*
- Htf = *Hauling time full*
- Dt = *Dumping time*
- The = *Hauling time empty*

## 2.6 Teori Antrean

Teori antrean merupakan kajian matematis mengenai antrean atau barisan tunggu. Teori ini meliputi semua aspek terkait situasi di mana pelanggan (baik individu maupun barang) harus menunggu untuk menerima suatu layanan. Sistem antrian terdiri dari sekelompok konsumen, penyedia layanan, dan aturan yang mengontrol kedatangan pelanggan. Keadaan sistem berkaitan dengan jumlah konsumen yang berada dalam suatu layanan, termasuk yang sedang menunggu dalam antrean. Tujuan penerapan teori antrean adalah dalam perancangan fasilitas pelayanan, untuk menangani permintaan layanan yang berubah secara acak dan menyeimbangkan antara biaya (waktu tidak produktif) layanan dan biaya (waktu) yang dibutuhkan selama antrean (Iqbal Arsyidik, 2019).

## 2.7 Probabilitas Keadaan Antrean

Berdasarkan Elvionita D.R (2018), probabilitas dalam sistem antrean dipengaruhi oleh jumlah *dump truck* yang digunakan serta kondisi antrean yang terbagi dalam empat tahapan utama :

1. Tahap 1 ( $\mu_1$ ) merupakan proses layanan oleh alat gali muat yang bertugas mengisi material ke dalam *dump truck* hingga kapasitas penuh. Kegiatan ini

berlangsung di area pemuatan (*loading*), dimulai dari kedatangan truk ke lokasi, menunggu giliran, melakukan manuver penempatan, hingga proses pemindahan material ke dalam truk dalam jangka waktu satu jam.

$$T_1 = \text{Waktu Penempatan} + \text{Waktu Pengisian}$$

$$\mu_1 = \frac{1}{T_1} \times 60 \text{ menit/jam}$$

2. Tahap 2 ( $\mu_2$ ) mencakup proses transportasi mandiri oleh alat angkut dari area *loading* ke lokasi tujuan, yaitu *stockpile*. Disebut pelayanan mandiri karena pada tahap ini *dump truck* tidak memerlukan bantuan dari alat gali muat, melainkan hanya bergerak menuju titik pembongkaran setelah proses pemuatan selesai.

$$T_2 = \text{Waktu Perjalanan Alat Angkut Bermuatan Menuju } \textit{Stokcpile}$$

$$\mu_2 = \frac{1}{T_2} \times 60 \text{ menit/jam}$$

3. Tahap 3 ( $\mu_3$ ) adalah proses pembongkaran muatan oleh *dump truck* di area *stockpile*. Aktivitas ini dimulai saat *dump truck* tiba di lokasi tujuan, melakukan posisi penempatan, dan kemudian menurunkan material ke area yang telah ditentukan.

$$T_3 = \text{Waktu } \textit{dumping}$$

$$\mu_3 = \frac{1}{T_3} \times 60 \text{ menit/jam}$$

4. Tahap 4 ( $\mu_4$ ) juga termasuk pelayanan mandiri, di mana *dump truck* yang telah selesai membongkar muatan kembali ke area *loading* tanpa membawa material. Truk dalam keadaan kosong ini kemudian bersiap untuk memulai siklus kerja berikutnya, dimulai lagi dari tahap pertama.

$$T_4 = \text{Waktu Kembali Alat Angkut Tidak Bermuatan}$$

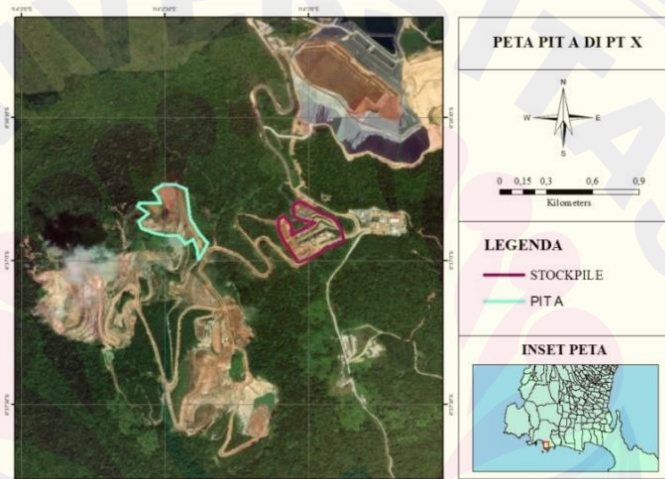
$$\mu_4 = \frac{1}{T_4} \times 60 \text{ menit/jam}$$

**BAB 3. METODOLOGI PENELITIAN**

**3.1 Lokasi dan Waktu Penelitian**

**3.1.1 Lokasi Penelitian**

Penelitian dilakukan pada tahun 2024 yang terletak pada salah satu Perusahaan Tambang di Jawa Timur tepatnya pada area Pit A pada PT X. Daerah ini terkenal dengan potensi tambang emas yang cukup besar. Pada sekitar wilayah ini terdapat jaringan yang menghubungkan area tambang dengan infrastruktur penting, seperti pelabuhan dan bandara yang memudahkan distribusi hasil tambang. Lokasi penelitian dapat dilihat pada Gambar 3.1



Gambar 3. 1 Peta Lokasi Penelitian

**3.1.2 Waktu Penelitian**

Penelitian ini berlangsung dimulai pada bulan Oktober 2024 – Juni 2025. Jadwal kegiatan selama penelitian skripsi ini berlangsung dapat dilihat pada Tabel 3.1

Tabel 3. 1 *Timeline* penelitian dan pengolahan data di PT X

No.	Kegiatan	Bulan Ke-								
		1	2	3	4	5	6	7	8	9
1.	Studi Literatur	√	√							
2.	Pengambilan Data		√	√						
3.	Pengolahan Data				√	√	√	√		
5.	Analisis Data							√	√	√
6.	Presentasi Hasil Penelitian									√

### 3.2 Sumber Data

Penelitian ini berfokus pada analisis produktivitas alat gali muat *excavator* dan alat angkut ADT pada penambangan bijih emas di PT X menggunakan metode antrean. Data yang diperlukan pada penelitian ini adalah data primer dan data sekunder.

#### 3.2.1 Data Primer

Data Primer adalah data yang diambil langsung dari objek penelitian. Data ini dapat diperoleh dari media observasi (Oemiati, 2020).

Data Primer terdiri dari :

- a. Waktu Edar (*Cycle Time*) adalah durasi yang dibutuhkan oleh mesin untuk menyelesaikan suatu proses dari awal hingga akhir, lalu siap untuk memulai lagi. *Cycle Time* pada data primer ini didapatkan pada saat *shift* siang.

#### 3.2.2 Data Sekunder

Dalam penelitian ini diperlukan beberapa sampel data sekunder. Data sekunder dalam penelitian ini diantaranya :

- a. Waktu Edar (*Cycle Time*) pada data sekunder ini didapatkan pada saat *shift* malam.
- b. *Swell Factor*, adalah ukuran yang menunjukkan sejauh mana volume material tanah akan mengembang setelah digali dari lokasi aslinya.
- c. *Match Factor* (MF), adalah persentase kecocokan antara alat gali dan angkut saat sedang berfungsi.
- d. *Bucket Fill Factor* (BFF), menunjukkan seberapa besar volume material aktual yang diangkut oleh alat gali dibandingkan dengan kapasitas teoritis maksimal alat tersebut.
- e. Efisiensi Kerja, yang didapatkan dari jam kerja dan hambatan kerja.
- f. Metode Antrean, yang didapatkan dengan mencari penentuan model antrean.

### 3.3 Tahapan Penelitian

Tahapan penelitian yang dilakukan yaitu sebagai berikut :

1. Studi Literatur

Studi literatur digunakan untuk mempelajari tentang produktivitas alat gali muat dan alat angkut yang berupa media elektronik, buku, jurnal, hasil penelitian sebelumnya dan juga karya tulis ilmiah yang berguna untuk pendukung referensi.

## 2. Pengumpulan Data

Data seperti waktu edar dan waktu hambatan yang didapatkan setelah dilakukan pengamatan langsung pada lokasi operasi PT X. Dengan dibantu menggunakan bantuan alat *stopwatch* untuk menghitung waktu edar dan waktu hambatan.

## 3. Pengolahan Data

Data setelah didapatkan kemudian diolah dan di golongkan sesuai dengan fungsinya. *Cycle time*, hambatan kerja dan *match factor* adalah data untuk menganalisis dalam memperhitungkan produktivitas alat gali muat dan alat angkut. Data dikelompokkan sesuai dengan fungsinya.

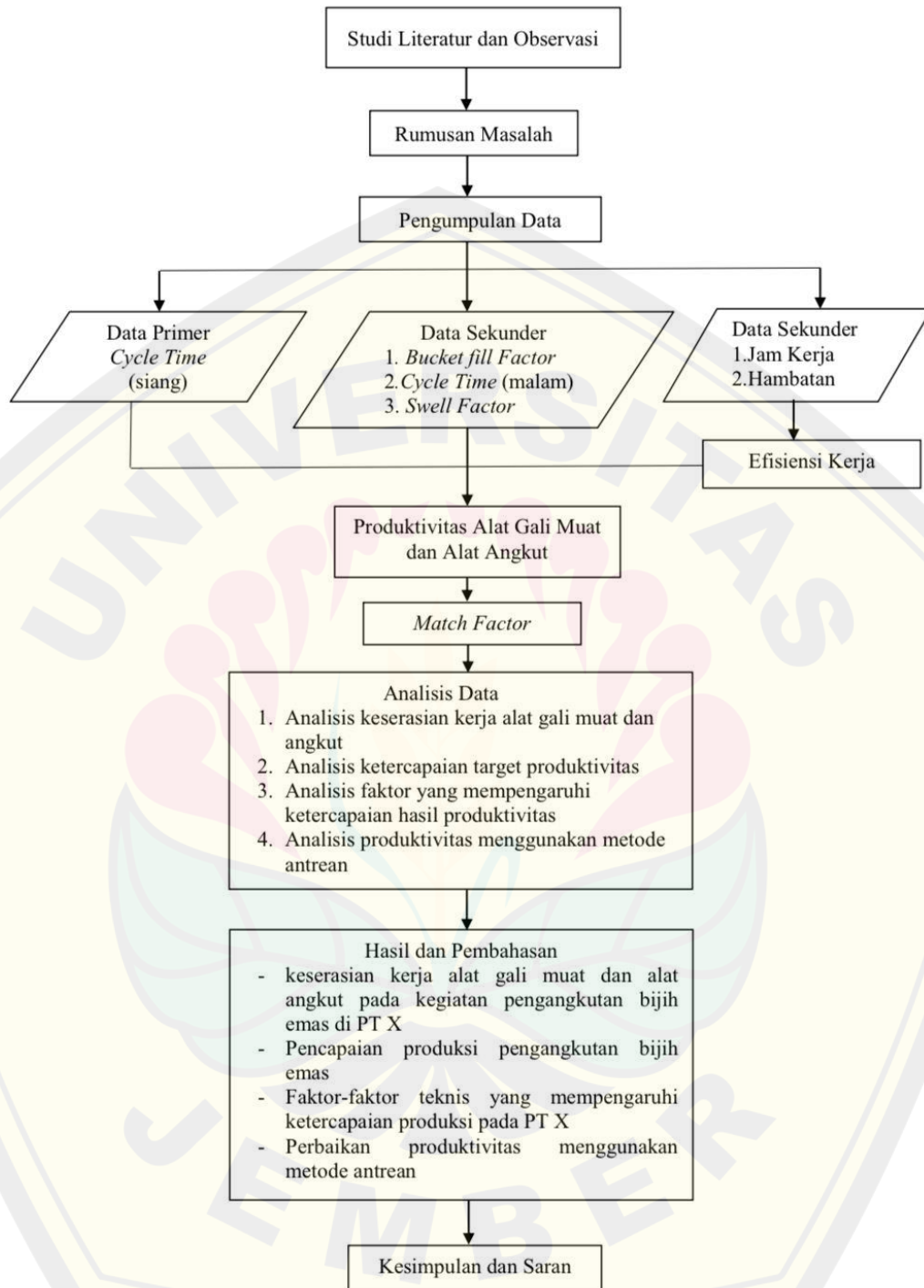
## 4. Analisis Data

Dilakukan sesuai dengan data yang sudah dikerjakan sebelumnya. Yang digunakan sebagai perbandingan untuk bahan analisis yaitu seperti data *cycle time* di beberapa *loading point* yang beroperasi. Hambatan kerja di lapangan juga dianalisis dalam melakukan kalkulasi kinerja alat gali muat dan alat angkut.

## 5. Kesimpulan dan Saran

Setelah semua analisis yang dilakukan sudah disusun, maka didapatkan kesimpulan dan juga saran dari penelitian yang sesuai dengan tujuan penelitian.

### 3.4 Diagram Alir Penelitian



Gambar 3.2 Diagram Alir Penelitian

## BAB 4. HASIL DAN PEMBAHASAN

### 4.1 Produktivitas Alat Gali Muat dan Alat Angkut

#### 4.1.1 Waktu Edar Alat Gali Muat

Perhitungan waktu edar alat gali muat dipengaruhi oleh beberapa faktor seperti waktu penggalian (*digging*), pengangkutan material (*swing isi*), pemuatan material (*dumping*), dan pemutaran kembali (*swing kosong*). Data waktu edar alat gali muat didapatkan secara sekunder dari perusahaan PT X sebanyak 800 data (Lampiran 6). Nilai minimum dan maksimum pada Tabel 4.1.

Tabel 4. 1 Waktu edar alat gali muat *excavator* (detik)

	<i>Digging</i>	<i>Swing Isi</i>	<i>Dumping</i>	<i>Swing Kosong</i>	Total
Maksimum	25,68	33,94	12,98	10,96	83,56
Minimum	0,96	3,4	1,11	2,72	8,19
Rata-rata	11,3334	8,5436	6,4866	6,565	32,92

Berdasarkan data Tabel 4.1 diketahui nilai maksimum pada proses *digging*, *swing isi*, *dumping* dan *swing kosong* dibutuhkan pada 1 siklus alat gali muat dengan total waktu 83,56 detik, untuk nilai minimum dengan total 8,19 detik. Maulana (2021), nilai total maksimum dalam kategori cukup baik dengan rentang 40-100 detik dan untuk nilai minimum dalam kategori baik dimana *excavator* bekerja efisien <30 detik.

#### 4.1.2 Waktu Edar Alat Angkut

Faktor yang mempengaruhi dalam perhitungan waktu edar alat angkut yaitu pada area *loading* (T1), pengangkutan material menuju *stockpile* (T2), penumpahan material (T3), perjalanan kembali dengan *bucket* kosong (T4), dilakukan untuk mengetahui total waktu siklus (*cycle time*) alat angkut. Data waktu edar alat angkut didapatkan secara sekunder dari perusahaan PT X sebanyak 200 data untuk shift malam dan data primer shift siang. Hasil waktu edar pada Tabel 4.2

Tabel 4. 2 Waktu edar alat angkut *adt* (detik)

	T1	T2	T3	T4	Total
Maksimum	189,56	310	34,78	264,56	790
Minimum	15,3	303	18,5	230,1	560
Rata-rata	171,25	305	30,96	242, 24	751

Diketahui pada Tabel 4.2 waktu yang dibutuhkan *ADT* dalam satu siklus alat angkut dari proses T1 sampai T4 membutuhkan waktu maksimum dengan total 790 detik dan nilai minimum 560 detik. Maulana (2021), nilai total maksimum dan minimum termasuk dalam kategori baik dengan rentang <900 detik dimana *ADT* bekerja sangat efisien.

#### 4.1.3 Faktor Pengembangan (*Swell Factor*)

Diketahui nilai faktor pengembangan dari PT X sebesar 24.41%. Dimana diketahui bahwa nilai 24,41% termasuk dalam kategori sedang yang termasuk jumlah peningkatan volume material sebelum dan setelah di tambang. (Data Sekunder dari PT X).

#### 4.1.4 Faktor Pengisian Mangkuk (*Bucket Fill Factor*)

Nilai faktor pengisian bucket (*bucket fill factor*) pada lokasi PT X sebesar 80% (Data Sekunder dari PT X). Berdasarkan nilai tersebut diketahui terdapat perbandingan dengan penelitian terdahulu, dimana 80% merupakan *bucket* tidak terisi penuh seperti metode OEE yang mana *bucket fill factor* nya 100% atau terisi penuh sehingga penelitian terdahulu *bucket fill factor* nya tidak mempengaruhi perhitungan (Saputra, 2023)

#### 4.1.5 Efisiensi Kerja

Waktu yang menunjukkan efisiensi pekerjaan adalah ukuran yang menggambarkan seberapa baik pekerjaan dilaksanakan. Faktor-faktor yang mempengaruhi nilai efisiensi pekerjaan adalah waktu kerja yang efektif dan waktu kerja yang produktif. Waktu kerja yang efektif adalah total waktu yang tersedia setelah mengurangi waktu terhambat oleh faktor lain. Untuk perhitungan nilai, dapat merujuk pada Lampiran 7.

##### a. *Mechanical Availability* (MA)

Menurut Irfan (2021) kesediaan mekanis menunjukkan tingkat kesiapan alat dalam melaksanakan pekerjaan, dengan mengacu pada waktu yang terhenti akibat kerusakan atau gangguan mekanis. Dengan rumus :

$$\begin{aligned} MA &= \frac{W}{W+R} \times 100\% \\ &= \frac{805}{805+60} \times 100\% \end{aligned} \quad (4.1)$$

$$= 93\%$$

Dimana :

MA = Ketersediaan mekanis (%)

W = Waktu Kerja (*working hours*)

R = Waktu perbaikan (*repair hours*)

Jadi dari perhitungan diatas dapat diketahui hasil dari MA = 93%, dimana nilai tersebut termasuk dalam kategori baik dengan rentang >85%, yang memberikan gambaran bahwa kesiapan mekanis alat sudah baik.

#### b. *Physical Availability (PA)*

Menurut Irfan (2021), ketersediaan fisik menggambarkan catatan operasional alat berdasarkan aktivitas yang telah dilakukan dalam periode sebelumnya. Ketersediaan fisik dihitung dari perbandingan antara waktu kerja yang tersedia dengan total waktu kerja yang telah direncanakan. Dengan rumus :

$$\begin{aligned} PA &= \frac{W+S}{W+R+S} \times 100\% & (4.2) \\ &= \frac{805+575}{805+575+60} \times 100\% \\ &= 93\% \end{aligned}$$

Dimana :

PA = *Physical availability (%)*

W = *Working Hours*

R = *Repair hours*

S = *Standby hours*

Jadi dari perhitungan diatas dapat diketahui hasil dari PA = 93%, dimana nilai tersebut masuk dalam kategori baik dikarenakan masuk pada rentang >90%, dimana alat tersedia secara fisik untuk dioperasikan.

#### c. *Use Of Availability (UA)*

Menurut Irfan (2021) *use of availability* menunjukkan berapa persen waktu yang digunakan oleh suatu alat untuk beroperasi pada saat dapat digunakan (*available*). Contoh perhitungannya adalah sebagai berikut :

$$UA = \frac{W}{W+S} \times 100\% \quad (4.3)$$

$$= \frac{805}{805+575} \times 100\%$$

$$= 58\%.$$

Dimana :

UA = *Used of availability (%)*

W = *Working hours*

S = *Standby hours*

Jadi dari perhitungan diatas dapat diketahui hasil dari UA = 58%, dimana nilai tersebut termasuk dalam kategori buruk karena terdapat pada rentang <60%, karena operator tidak optimal atau penjadwalan buruk.

#### d. *Effective Utilization (EU)*

Menurut Irfan (2021), penggunaan efektif menunjukkan persentase waktu di mana alat benar-benar digunakan untuk bekerja dibandingkan dengan seluruh waktu kerja yang telah direncanakan. *Effective utilization* merepresentasikan tingkat efisiensi kerja alat, di mana semakin tinggi nilainya, maka semakin optimal pula pemanfaatan alat tersebut. Berikut ini merupakan contoh perhitungannya:

$$EU = \frac{W}{W+R+S} \times 100\% \quad (4.4)$$

$$= \frac{805}{805+60+575} \times 100\%$$

$$= 56\%.$$

Dimana :

W+R+S = T = “*total hours available*” atau “*scheduled hours*” atau jumlah jam kerja yang tersedia. Jadi dari perhitungan diatas dapat diketahui hasil dari EU = 56%, dimana nilai tersebut masuk pada kategori cukup baik pada rentang 50-64%, karena efisiensi waktu kerja alat yang seimbang.

#### 4.1.6 Perhitungan Produktivitas Alat Gali Muat dan Alat Angkut

*Excavator Cat 6015B* memiliki produktivitas 956.706 BCM/jam per unit, sehingga dengan 1 unit total produktivitasnya tetap pada 956.706 BCM/jam. *ADT 745* memiliki produktivitas 163.817 BCM/jam per unit, sehingga dengan 6 unit total produktivitas nya sebesar 982.901 BCM/jam (Lampiran 4). Setiap 1 *fleet*

terdiri dari 1 *Excavator Cat 6015B* dan 6 unit *ADT 745*. Produktivitas pada Tabel 4.3.

Tabel 4.3 Produktivitas alat berat

Alat Mekanis	Produktivitas (BCM/bulan)	Jumlah Unit	Total Produktivitas (BCM/bulan)
<i>Excavator Cat 6015B</i>	956.706	1	956.706
<i>ADT 745</i>	163.817	6	982.901

#### 4.2 Total Produksi Alat Gali Muat dan Alat Angkut

Total produksi *Excavator Cat 6015B* hanya mencapai 711.789.193 BCM/bulan dengan tingkat ketercapaian 50% dari target 1.424.000.000 BCM. Produksi dipengaruhi oleh jumlah unit, total durasi jam kerja, dan total hari kerja per bulan. Total produksi *ADT 745* mencapai 731.278.095 BCM/bulan atau 86% dari target produksi yang disebabkan oleh berbagai hambatan yang mengurangi efisiensi kerja alat (Lampiran 4). Jumlah total produksi pada Tabel 4.4

Tabel 4.4 Total produksi alat berat

Unit	Target Produksi (BCM/Bulan)	Total Produksi (BCM/Bulan)	Ketercapaian (%)
1 <i>Exca</i>	1.424.000.000	711.789.193	50
6 <i>ADT</i>	850.000.000	731.278.095	86

Diketahui ketercapaian pada *Excavator Cat 6015B* sebesar 50% karena hanya mampu menghasilkan 711.789.193 dari target produksi 1.424.000.000 atau setengahnya dari target, *ADT 745* memiliki ketercapaian yang baik sebesar 86% atau sebesar 731.278.095 dari target 850.000.000 yang mana dapat diketahui hampir mencapai target produksi. Ketidak tercapaian produksi disebabkan karena adanya adanya faktor hambatan seperti faktor pekerja, faktor cuaca, dan faktor alat berat dan juga kurangnya alat gali muat.

#### 4.3 Match Factor sebelum Metode Antrean

Rasio yang digunakan untuk menggambarkan keseimbangan ala dalam operasi alat berat. Hasil ini menunjukkan bahwa  $MF > 1$ . Secara ideal MF yang optimal adalah mendekati 1. Jika  $MF < 1$ , artinya alat gali muat lebih banyak menganggur karena kekurangan alat angkut. Rumus *match factor* beserta hasil

sebelum menggunakan metode antrean sebagai berikut.

$$\begin{aligned} MF &= \frac{Na (n \times Ctm)}{Nm \times Cta} & (4.5) \\ &= \frac{6 (7 \times 32,92)}{1 \times 751} \\ &= 1.8 \end{aligned}$$

Pada kasus ini,  $MF > 1$  dengan nilai yang cukup besar, yaitu 1,8. Ini menandakan adanya ketidakseimbangan yang besar dalam sistem operasi. Jumlah alat angkut dan kecepatan pengisian tidak proporsional terhadap kemampuan kerja alat gali muat. Dengan kata lain, alat gali muat menjadi terlalu sibuk, sementara alat angkut yang tidak produktif.

#### 4.4 Penentuan Tingkat Pelayanan

##### 4.4.1 Pelayanan *Loading*

Tahap 1, mengisi material ke dalam *dump truck* hingga kapasitas penuh

$$\begin{aligned} T_1 &= \text{waktu tunggu} + \text{waktu penempatan} + \text{waktu pengisian} \\ &= 2.35 + 0.56 + 1.33 \\ &= 4,2 \text{ menit} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \mu_1 &= \frac{1}{T_1} \times 60 \text{ menit/jam} \\ &= \frac{1}{4,2} \times 60 \text{ menit/jam} \\ &= 14,29 \text{ truck/jam} = 14 \text{ truck/jam} \end{aligned}$$

Tahap pelayanan ini merupakan perhitungan untuk menghitung jumlah *dump truck* yang dapat dilayani oleh *excavator* di area *loading* dalam satu jam. Dari perhitungan diperoleh nilai  $T_1$  sebesar 4,4 menit, yang berarti setiap *dump truck* membutuhkan waktu sekitar 4,2 menit pada tahap ini.

##### 4.4.2 Pengantaran material ke *stockpile*

Tahap 2, mencakup proses transportasi oleh alat angkut dari area *loading* ke lokasi tujuan, yaitu *stockpile*.

$$\begin{aligned} T_2 &= \text{waktu perjalanan alat angkut bermuatan} \\ &= 4,1 \text{ menit/truck} \end{aligned}$$

$$\mu_2 = \frac{1}{T_2} \times 60 \text{ menit/jam}$$

$$= \frac{1}{4,1} \times 60 \text{ menit/jam}$$

$$= 14,63 \text{ truck/jam} = 15 \text{ truck/jam}$$

Pada tahap ini, alat angkut membawa material menuju area *stockpile*. Waktu yang diperlukan untuk proses ini adalah 4,1 menit, dengan kapasitas pelayanan ( $\mu_2$ ) sebesar 15 unit *dump truck* per jam.

#### 4.4.3 Proses *Dumping*

Tahap 3, adalah proses pembongkaran muatan oleh *dump truck* di area *stockpile*.

$$T_3 = \text{Waktu dumping}$$

$$= 0,67 \text{ detik}$$

$$\mu_3 = \frac{1}{T_3} \times 60 \text{ menit/jam}$$

$$= \frac{1}{0,67} \times 60 \text{ menit/jam}$$

$$= 89,55 \text{ truck/jam} = 90 \text{ truck/jam}$$

Pada tahap 3 proses *dumping*, nilai  $T_3$  diperoleh sebesar 0,67 menit dengan kapasitas  $\mu_3$  sebanyak 90 unit. *Excavator* dapat melayani hingga 90 unit *dump truck*.

#### 4.4.4 Kembali ke area *loading* tanpa muatan

Tahap 4, *dump truck* yang telah selesai membongkar muatan kembali ke area *loading* tanpa membawa material.

$$T_4 = \text{Waktu kembali ke area } \textit{loading} \text{ tanpa muatan}$$

$$= 3,75 \text{ detik}$$

$$\mu_4 = \frac{1}{T_4} \times 60 \text{ menit/jam}$$

$$= \frac{1}{3,75} \times 60 \text{ menit/jam}$$

$$= 16 \text{ truck/jam}$$

Tahap 4 alat angkut membutuhkan waktu untuk kembali ke area *loading*. Waktu yang dibutuhkan pada tahap ini ( $T_4$ ) adalah 3,75 menit, dengan kapasitas pelayanan ( $\mu_4$ ) sebesar 16 *truck* per jam. Saat dalam kondisi kosong, *truck* memiliki waktu siklus yang lebih cepat dibandingkan saat membawa muatan, karena beban berat memengaruhi kecepatan kendaraan. Diketahui bahwa hanya

menunjukkan kemampuan *excavator* untuk per tahap bukan 1 siklus penuh dari awal hingga akhir proses pelayanan.

#### 4.5 Faktor yang Mempengaruhi Ketercapaian Produktivitas Alat

##### 4.5.1 Efisiensi Kerja

Efisiensi kerja pada PT X tercatat sebesar 56%. Dimana diketahui dengan rumus :

$$\begin{aligned} \text{EFF} &= \frac{W_{ke}}{W_{kt}} \times 100\% & (4.6) \\ &= \frac{1440}{805} \times 100\% \\ &= 56\% \end{aligned}$$

Nilai tersebut termasuk dalam kategori "Buruk", karena berada di bawah ambang 70%. Kategori efisiensi kerja alat berat dapat dilihat pada Tabel 4.5.

Tabel 4.5 Efisiensi Kerja (Kepmen PU/No.11/PRT/M/2013)

Kondisi	Efisiensi Kerja (%)
Baik Sekali	83-100
Baik	75-83
Cukup Baik	70-75
Buruk	<70

Dari tabel 4.5 menunjukkan bahwa kinerja operasional alat pada PT X masih belum optimal. Sehingga perlu dilakukan evaluasi dan perbaikan dalam sistem operasional maupun pemeliharaan alat untuk meningkatkan efisiensi kerja ke level yang lebih baik.

##### 4.5.2 Hambatan Kerja

Hambatan kerja pada PT X meliputi faktor pekerja, faktor cuaca dan faktor alat berat. Diantaranya hambatan yang terjadi pada PT X tertera pada Tabel 4.6.

Tabel 4.6 Hambatan Kerja pada PT X

HAMBATAN	/Hari (menit)
JAM KERJA	1440
STAND BY	575
Istirahat	60
Pengisian Fuel	20
Drill Blast	60
Hujan	180
Licin	90

Tabel 4.6 Hambatan Kerja pada PT X (lanjutan)

<b>HAMBATAN</b>	<b>/Hari (menit)</b>
Telat kerja	40
Terlalu cepat <i>break</i>	29
Telat mulai dari istirahat	26
Selesai mengakhiri terlalu cepat	43
Ketidaktersediaan operator	27
<b>BREAKDOWN</b>	60
<b>SCHEDULE HOUR</b>	805

Menurut tabel 4.6 diketahui produktivitas dalam kegiatan pertambangan dipengaruhi oleh berbagai faktor, di antaranya adalah faktor :

#### 1. Faktor Pekerja

Faktor pekerja meliputi terlambat memulai pekerjaan sebanyak 40 menit/hari, terlalu cepat istirahat 29 menit/ hari, terlambat memulai setelah istirahat 26 menit/hari, terlalu cepat mengakhiri pekerjaan 43 menit/hari, dan ketidaktersediaan operator 27 menit/hari.

#### 2. Faktor Alat Berat

Diketahui pada tabel 4.8 terdapat hambatan alat berat seperti *breakdown* dengan total waktu 60 menit/hari, nilai tersebut termasuk waktu perbaikan.

#### 3. Faktor Cuaca

Selanjutnya yaitu faktor cuaca, dimana diketahui bahwa hujan pada PT X selama 180 menit/hari, dimana nantinya berdampak pada jalan yang menjadi licin akibat hujan tersebut dan menghasilkan waktu 90 menit/hari kondisi jalan licin. Dengan upaya perbaikan jalan seperti menambahkan material agregat dengan ukuran 25-50 mm yang dapat memecah lapisan licin.

#### 4.5.3 Penentuan Model Antrean

Berdasarkan situasi di lokasi, antrian mencerminkan urutan kedatangan yang terbatas dan hanya dilayani oleh satu unit ekskavator, sehingga jenis pelayanannya adalah layanan tunggal dengan aturan bahwa yang datang pertama akan dilayani lebih dulu (FCFC = *first come first service*). Namun, untuk meningkatkan target produksi, model antrean yang lebih tepat digunakan adalah

*multi server* (M/M/s), misalnya M/M/2 jika ditambahkan 1 *excavator* lagi alasannya yaitu *bottleneck* utama berada pada tahap pemuatan (T1), di mana satu *excavator* hanya bisa melayani sekitar 14 *truck*/jam. Dengan menambahkan *excavator* kedua, laju pelayanan meningkat dua kali lipat menjadi sekitar 28 *truck*/jam, sehingga:

- Waktu tunggu *dump truck* berkurang,
- Tingkat utilisasi alat angkut meningkat,
- Dan produktivitas alat angkut meningkat signifikan.

Model antrean *multi server* mencerminkan sistem *riil* yang lebih seimbang dan efisien saat kapasitas layanan ditingkatkan melalui penambahan unit alat gali muat.

#### 4.6 Produktivitas setelah diterapkannya Metode Antrean

##### 4.6.1 Match Factor (MF) setelah menggunakan Metode Antrean

Nilai sebelum menggunakan metode antrean :

- Jumlah ADT = 6 unit
- Jumlah *Excavator* = 1 unit
- Waktu edar *Excavator* ( $C_{tm}$ ) = 32,92
- Waktu edar ADT ( $C_{ta}$ ) = 751
- Banyaknya pengisian = 7

$$\text{Match Factor (MF)} = \frac{N_a (n \times C_{tm})}{N_m \times C_{ta}} = \frac{6 \times 7 \times 32,92}{1 \times 751} = \frac{1.382.64}{751} \approx 1,8$$

Nilai setelah menggunakan metode antrean : (penambahan 1 *excavator*)

$$\text{Match Factor (MF)} = \frac{N_m \times n \times C_{tm}}{N_a \times C_{ta}} = \frac{6 \times 7 \times 32,92}{2 \times 751} = \frac{1.382.64}{1.502} \approx 0,9$$

Nilai MF ideal adalah mendekati 1, yang menandakan bahwa tidak ada waktu tunggu, sistem bekerja optimal dimana terjadi peningkatan baik pada alat gali muat maupun alat angkut. Dimana di asumsikan untuk *cycle time* memiliki nilai yang sama atau tetap.

##### 4.6.2 Simulasi Penambahan 1 *Excavator* (Model *Multi Server* M/M/2)

Jika satu unit *excavator* ditambahkan (total 2 unit), maka kapasitas pelayanan ( $\mu$  total) pada tahap 1 akan menjadi:

$$\mu_{\text{total}} = \mu_1 \times 2 = 14 \times 2 = 28 \text{ truck/jam}$$

Dengan peningkatan kapasitas seperti waktu tunggu *dump truck* berkurang signifikan, jumlah siklus per hari meningkat, utilisasi alat angkut lebih seimbang dan target produksi lebih realistis untuk dicapai. Jadi, dapat disimulasikan produksi bulanan *excavator* sebagai berikut :

- a. Produksi 1 unit = 711.789.193 BCM/bulan
- b. Produksi 2 unit =  $2 \times 711.789.193 = 1.423.578.387$  BCM/bulan

Maka dengan diterapkannya metode antrean dan analisis simulasi *multi-server* jumlah *dump truck* yang dapat dilayani meningkat dari 14 menjadi 28 unit/jam, produktivitas *excavator* meningkat secara signifikan bila unit ditambah, sistem antrean menjadi lebih seimbang, efisiensi waktu kerja *Excavator* meningkat karena waktu *idle* berkurang dan target produksi perusahaan sebesar 1.424.000.000 BCM/bulan lebih mungkin dicapai.

Setelah penerapan metode antrean dan strategi penambahan satu unit alat gali muat (*excavator*), terjadi peningkatan yang signifikan pada produktivitas alat gali muat (*excavator*). Sebelumnya, tingkat ketercapaian produksi *Excavator* hanya sebesar 50% dari target 1.424.000.000 BCM/bulan. Hal ini disebabkan oleh ketidakseimbangan dalam sistem operasi, terutama nilai *match factor* (MF) yang tinggi, yaitu 1,8, yang menandakan bahwa alat angkut mengalami *idle time* (waktu tunggu) yang tinggi akibat keterbatasan alat gali muat.

Setelah dilakukan simulasi dengan model antrean *multi-server* (M/M/2), dan dilakukan penambahan 1 unit *excavator*, nilai *match factor* ideal, serta terjadi penurunan waktu tunggu *dump truck* di area *loading*. Dampak langsung dari hal ini adalah meningkatnya efisiensi kerja alat angkut, sehingga jumlah siklus harian meningkat dan volume material yang dapat diangkut bertambah signifikan.

Ketercapaian produksi alat gali muat (*excavator*) meningkat setelah diterapkannya metode antrean *multi-server* (M/M/2) dan penambahan satu unit alat gali muat. Sebelumnya, keterbatasan alat gali muat menyebabkan waktu tunggu *dump truck* tinggi dan menurunkan produktivitas. Melalui optimasi sistem dan pengurangan hambatan kerja, *dump truck* dapat beroperasi lebih efisien. Hasil ini menunjukkan bahwa metode antrean efektif dalam menyeimbangkan sistem alat berat dan meningkatkan pencapaian produksi. Hal ini membuktikan bahwa

penambahan alat gali muat secara terukur dan tepat berdasarkan hasil analisis antrean mampu mengatasi ketidakseimbangan sistem dan meningkatkan produktivitas. Dengan diterapkannya metode antrean, sistem kerja antara alat gali muat dan angkut dapat dioptimalkan secara matematis dan operasional. Metode ini terbukti tidak hanya efektif dalam mengidentifikasi titik hambatan produksi, tetapi juga mampu memberikan solusi kuantitatif terhadap permasalahan kapasitas alat dan efisiensi kerja. Oleh karena itu, metode antrean layak dijadikan acuan dalam evaluasi serta perencanaan sistem peralatan tambang agar pencapaian target produksi dapat direalisasikan secara maksimal.



## BAB 5. KESIMPULAN DAN SARAN

### 5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisis data dan pembahasan, kesimpulan yang didapatkan dari penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Keserasian kerja alat gali muat dan alat angkut pada penambangan bijih emas di PT X diketahui sebelum menggunakan metode antrean mendapatkan hasil  $MF > 1,8$  kemudian setelah perbaikan menggunakan metode antrean diketahui mendapatkan hasil  $MF = 1$  sebesar 0,9 hasil ini menyatakan bahwa metode antrean dapat memberikan solusi yang optimal terhadap kinerja alat gali muat dan alat angkut.
2. Produksi penambangan bijih emas di PT X untuk *Excavator Cat 6015B* produksi penambangan bijih emas sebesar 711.789.193 BCM/bulan dengan ketercapaian 50% dari target produksi penambangan bijih emas, setelah dilakukannya perbaikan menggunakan metode antrean diketahui terjadi peningkatan ketercapaian yang signifikan sebesar 100% atau sejumlah 1.423.578.387 dari target produksi 1.424.000.000, dan *Articulate Dump truck 745* sebesar 731.278.095 BCM/bulan menghasilkan ketercapaian 86% dari target produksi sebesar 850.000.000 yang dimana tidak perlu dilakukan perbaikan karena ketercapaian *ADT* sudah baik.
3. Faktor yang mempengaruhi ketidaktercapaian target produksi dipengaruhi oleh hambatan kerja yang ada yang mengakibatkan berkurangnya waktu/jam kerja seperti hambatan pada pekerja sebesar 575 menit/hari, alat berat 60 menit/hari dan cuaca 270 menit/hari yang mana jam kerja 1.440 menit/hari menjadi 805 menit/hari karena adanya beberapa faktor hambatan tersebut.

### 5.2 Saran

Berdasarkan hasil penelitian, saran yang diberikan yaitu sebagai berikut :

1. Rekomendasi pada penelitian selanjutnya untuk membahas probabilitas keadaan antrean karena diketahui pada penelitian ini tidak membahas probabilitas keadaan antrean sehingga dapat memberikan gambaran lebih

lengkap terhadap kinerja sistem antrean dan membantu optimalisasi waktu tunggu.

2. Rekomendasi untuk penelitian selanjutnya dapat menggunakan metode lain seperti metode *OEE*, metode *survey & truck count* atau metode lain sehingga dapat memberikan gambaran yang berbeda dengan metode antrean pada penelitian ini. Dengan pendekatan yang berbeda, diharapkan hasil analisis produktivitas alat dapat lebih komprehensif dan memberikan sudut pandang baru terhadap efisiensi operasional di lapangan.



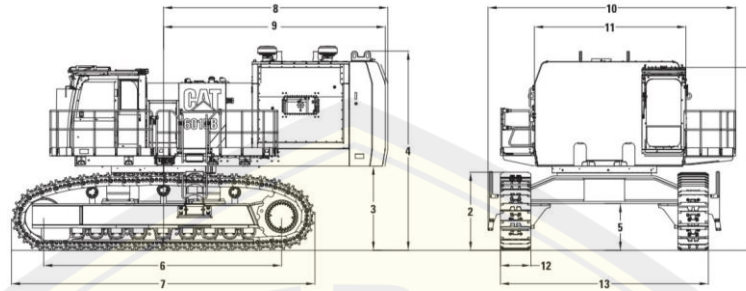
## DAFTAR PUSTAKA

- Altit, H., Alrawashdeh, R., & Alnawafleh, H. (2021). Open pit mining. In *Mining techniques-Past, present and future*. IntechOpen.
- Anas, A. V., Tui, R. N. S., & Amalia, R. (2022). Analisis Biaya Konsumsi Bahan Bakar Alat Angkut Menggunakan Teori Antrean di PT. Harfia Graha Perkasa, Kabupaten Gowa Provinsi Sulawesi Selatan. *Jurnal Penelitian Enjiniring*, 26(2), 59-66.
- Azis, A., Saismana, U., & Riswan, R. (2020). Evaluasi Pencapaian Target Produksi Penambangan Berdasarkan Metode Survey Dan *Truck Count* Di PT Jhonlin Baratama Site Kintap. *Jurnal Himasapta*, 4(3).
- Elvionita, D. R., Yulhendra, D., & Anaperta, Y. M. (2018). Kajian Sistem Kerja Alat Muat dan Alat Angkut pada Pengupasan Overburden dengan Penerapan Metode Antrian di Pit Taman Tambang Air Laya PT. Bukit Asam (Persero) Tbk. *Journals Mining Engineering: Bina Tambang*, 3(2), 819-834.
- Irfan, Andri. (2021). *Data Mining & Decision Support System, Optimasi Pekerjaan Tanah Konstruksi Jalan Tol*. ISBN 978-623-6385-92-0.
- Iqbal, M., Arsyidik (2019). Analisis Produktivitas Alat Gali Muat dan Alat Angkut dengan Teori Antrian Pada PT. Sambas Minerals Mining. *Jurnal Penelitian Teknik Pertambangan Universitas Halu Oleo*.
- Kementerian Pekerjaan Umum. (2013). Peraturan Menteri Pekerjaan Umum Nomor 11/PRT/M/2013 tentang Pedoman Analisis Harga Satuan Pekerjaan Bidang Pekerjaan Umum. Jakarta: Kementerian Pekerjaan Umum.
- Ladianto, H. Z., & Ernawati, R. (2019). Evaluasi Produktivitas Alat Muat Dan Alat Angkut Untuk Memenuhi Target Produksi Bulanan Pengupasan Overburden Pada Penambangan Nikel Di Blok B Pt. Paramitha Persada Tama Provinsi Sulawesi Tenggara. In *Prosiding Seminar Teknologi Kebumihan dan Kelautan (Semitan)* (Vol. 1, No. 1, pp. 208-213).
- Lase, A. S., Purnoma, H., & Wardana, N. K. (2024). Analisis Produktivitas Alat Gali Muat dan Alat Angkut Pada Pengupasan Lapisan Tanah Penutup (Overburden) Di PT. Cahaya Riau Mandiri Kabupaten Lahat Provinsi Sumatera Selatan. *Jurnal Teknologi Mineral FT Unmul*, 12(1), 9-17.
- Luthfi, M., & Gusman, M. (2023). Evaluasi Kemampuan Alat Gali Muat *Excavator SANY SY500H* untuk Mencapai Target Produksi Pengupasan *Overburden* 184.571 BCM/Bulan Menggunakan Metode *Overall Equipment Effectiveness* di *Pit A* PT. Mandiangin Batubara Kab. Musi Banyuasin Provinsi Sumatera Selatan. *Bina Tambang*, 8(1), 84-94.
- Maulana, M., Saismana, U., & Hakim, R. N. (2021). Optimalisasi Produktivitas Alat Gali Muat dan Alat Angkut Pada PT Boreno Alam Semesta, Desa Swarangan, Kecamatan Jorong, Kabupaten Tanah Laut, Kalimantan Selatan. *Jurnal Himasapta*, 6(1), 23-26.
- Muchdarsyah, S. (1997). Produktivitas apa dan bagaimana (edisi kedua). *Jakarta: Bumi Aksara*.
- Muzaffar, M. D., & Saldy, T. G. (2023). Analisis Produksi Alat Gali Muat dan Alat Angkut dengan Menggunakan Metode Match Factor dan Teori Antrian

- untuk Memenuhi Target Produksi Batubara 48.000 Ton/Bulan di Gunung Selan PT Putra Maga Nanditama Bengkulu Utara. *Journals Mining Engineering: Bina Tambang*, 8(1), 55-62.
- Oemiati, N., Revisdah, R., & Rahmawati, R. (2020). Analisa Produktivitas Alat Gali Muat Dan Alat Angkut Pada Pengupasan Lapisan Tanah Penutup (Overburden). *Bearing: Jurnal Penelitian dan Kajian Teknik Sipil*, 6(3), 194-207.
- Pradina, H. W. (2023). Optimalisasi Produktivitas ALat Gali Muat dan ALat Angkut dengan menggunakan Metode Antrian pada Kegiatan Pengupasan Lapisan Tanah Penutup di PT. Inti Bara Nusalima, Pit Berkat Bara Persada, Kec. Batin XXIV, Kabupaten Batanghari, Jambi (*Doctoral dissertation, UNIVERSITAS JAMBI*).
- Putra, M. R. P., & Gusman, M. (2020). Evaluasi Hasil Produktivitas Alat Gali Muat *Excavator* PC-400 pada Proses Penambangan Batubara di PT. Artamulia Tatapatama. *Bina Tambang*, 5(1), 225-234.
- Putrawiyanta, I. P. (2024). Perhitungan Volume Dengan Permodelan Software Terramodel Terhadap Stockpile Batubara: Volume Calculation Using Terramodel Software Modeling On Coal Stockpile. *Jurnal Teknik Pertambangan*, 24(1), 1-9.
- Rija, S., & Anaperta, Y. M. (2020). Optimalisasi Peralatan Tambang dengan Metode *Overall Equipment Effectiveness* (OEE) untuk Memenuhi Target Produksi Pengupasan *Overbuden* Bulan Agustus 2019 di Pit 1 Utara Bangko Barat PT. Satria Bahana Sarana Tanjung Enim Sumatera Selatan. *Bina Tambang*, 5(3), 102-110.
- Saputra, D., & Yulhendra, D. (2023). Evaluasi Produktivitas Alat Gali Muat Untuk Mencapai Target Produksi Pengupasan Overburden 43.700 Bcm/Bulan Menggunakan Metode Overall Equipment Effectiveness (OEE) Di PT. Mineral Sukses Makmur, Site Lolo, Sumatera Baratra Bar. *Bina Tambang*, 8(1), 179-191.
- Sari, C. F. K. (2020). Aplikasi Program Arc-SDM Pada Penginderaan Jauh Untuk Pemetaan Mineral Emas. *Jurnal Teknologi Informasi dan Pendidikan*, 13(1), 111-116.
- Syafira, A. (2015). *Analisis penurunan kadar sianida menggunakan metode passive treatment pada limbah tailing tambang emas (Studi Kasus: PT. ANTAM (Persero Tbk UBPE Pongkor)* [Universitas Indonesia]
- Wijaya, M. C., Setyawan, A., Handayani, F. S., & Pramesti, F. P. (2020). Analisis Konsumsi Bahan Bakar Pada Tahap Penggunaan Perkerasan Kaku Ruas Jlaan Kabupaten (Studi Kasus: Ruas Jalan Kabupaten Sragen). *Matriks Teknik Sipil*, 8(2).

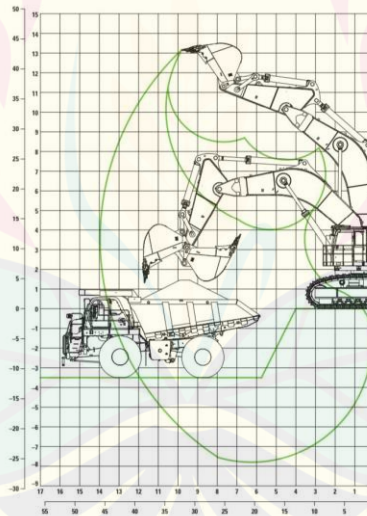
LAMPIRAN-LAMPIRAN

Lampiran 1. Spesifikasi Excavator Cat 6015B



DIMENSIONS

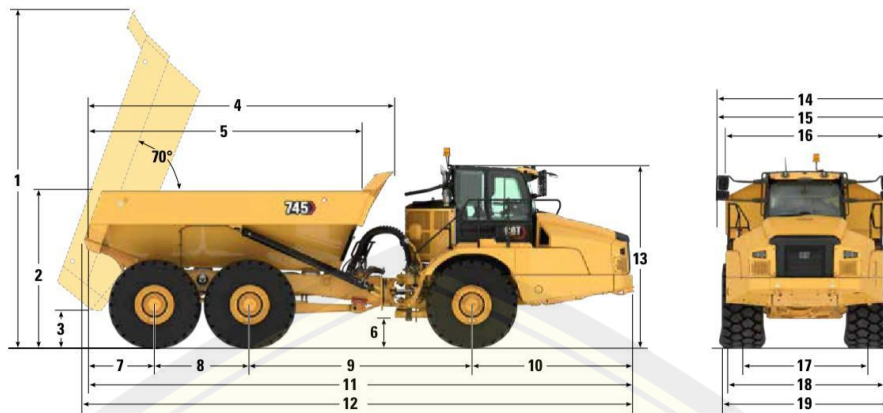
1	4210 mm	13 ft 10 in	8	5180 mm	17 ft 0 in
2	1800 mm	5 ft 11 in	9	5120 mm	16 ft 10 in
3	1940 mm	6 ft 4 in	10	7520 mm	24 ft 8 in
4	4590 mm	15 ft 1 in	11	3650 mm	12 ft 0 in
5	1080 mm	3 ft 7 in	12	700 mm	2 ft 4 in
6	5530 mm	18 ft 2 in	13	4800 mm	15 ft 9 in
7	7000 mm	23 ft 0 in			



Working Range		
Maximum Digging Depth	7.9 m	25 ft 7 in
Maximum Digging Reach	13.9 m	45 ft 11 in
Maximum Digging Height	13.2 m	43 ft 4 in
Maximum Dump Height	8.7 m	28 ft 7 in
Digging Forces		
Bucket Digging Force (SAE)	501 kN	112,600 lbf
Stick Digging Force (SAE)	439 kN	98,800 lbf
Bucket Digging Force (ISO)	586 kN	131,700 lbf
Stick Digging Force (ISO)	458 kN	103,000 lbf

Backhoe		
Tooth System	Cat C70 penetration tip with CapSure lock	
Capacity 1:1	8.1 m <sup>3</sup>	10.6 yd <sup>3</sup>
Total Width	2682 mm	8 ft 10 in
Number of Teeth	5	
Weight Including Standard Wear Package	7528 kg	16,596 lb
Maximum Material Density (loose)	1.8 t/m <sup>3</sup>	3,034 lb/yd <sup>3</sup>

Lampiran 2. Spesifikasi *Articulate Dump truck 745*



**DIMENSI**

	mm	ft/in
1 Tinggi Bak Dimiringkan Sepenuhnya	7288	240"
2 Tinggi Pemuatan	3261	107"
3 Jarak Bebas ke Tanah - Bak Dimiringkan Sepenuhnya	779	27"
4 Panjang Bak	6402	210"
5 Panjang Bak Sisi Dalam	5929	194"
6 Jarak Bebas ke Tanah	590	1'11"
7 Pusat Gandar Belakang ke Belakang Bak	1458	4'8"
8 Pusat Gandar Tengah ke Gandar Belakang	1966	6'5"
9 Gandar Tengah ke Gandar Depan (Pusat)	4590	15'1"
10 Pusat Gandar Depan ke Depan Alat Berat	3418	11'3"
11 Panjang Keseluruhan	11.432	37'6"
12 Panjang Keseluruhan dengan Pintu Belakang	11.559	37'11"
13 Tinggi Posisi Angkut	3762	12'4"
14 Lebar Keseluruhan	3801	12'6"
15 Lebar dengan Pintu Belakang/Lebar Termasuk Pintu Belakang	3774	12'5"
16 Lebar Bodi	3422	11'3"
17 Lebar Track	2687	8'10"
18 Lebar Antar-Fender	3370	11'1"
19 Bermuatan Maks Antar-Tonjolan Ban	3500	11'6"

**Engine**

Model Engine	Cat® C18	
Daya Kotor (SAE J1995:2014)	381 kW	511 hp
Daya Bersih (SAE J1349:2011)	370 kW	496 hp
Daya Engine (ISO 14396:2002)	376 kW	504 hp
Diameter	145 mm	5,7 in
Langkah	183 mm	7,2 in
Kapasitas Silinder	18,1 L	1106 in <sup>3</sup>

**Kapasitas Bak**

Munjung SAE 2:1	25,5 m <sup>3</sup>	33,4 yd <sup>3</sup>
Rata	19,9 m <sup>3</sup>	26,0 yd <sup>3</sup>
Munjung Pintu Belakang SAE 2:1	27,3 m <sup>3</sup>	35,7 yd <sup>3</sup>
Rata Pintu Belakang	20,9 m <sup>3</sup>	27,3 yd <sup>3</sup>

**Bobot**

Muatan Tetap	41 metrik ton	45,2 ton
--------------	---------------	----------

**Lampiran 3.** Produktivitas Alat Gali Muat dan Alat Angkut Sebelum Metode Antrean

a. *Excavator* Cat 6015B

Persamaan yang digunakan dalam menghitung produktivitas *Excavator* Cat 6015B yaitu sebagai berikut. Diketahui :

C	= volume mangkuk	= 8
BFF	= faktor pengisian alat	= 0,8
SF	= faktor pengembangan	= 24.41
CTm	= waktu edar	= 32.92 detik
EFF	= efisiensi kerja	= 56

$$\begin{aligned}
 Q &= \frac{3600}{Ctm} \times (C \times BFF \times EFF \times SF) \\
 &= \frac{3600}{32.92} \times (8 \times 0,8 \times 56 \times 24.41) \\
 &= 956.706 \text{ BCM/jam}
 \end{aligned}$$

Produktivitas *Excavator* Cat 6015B secara keseluruhan :

Waktu kerja	= 24 jam/hari
Jumlah Hari Kerja	= 31 hari
Ptot	= (Q x 1 unit)
	= (956.706 BCM/jam x 1)
	= 956.706 BCM/jam

Produksi perbulan :

$$\begin{aligned}
 P &= P_{tot} \times \text{waktu kerja} \times \text{jumlah hari kerja} \\
 &= 956.706 \text{ BCM/jam} \times 24 \text{ jam/hari} \times 31 \text{ hari} \\
 &= 711.789.193 \text{ BCM}
 \end{aligned}$$

Jadi, produksi alat gali-muat *excavator* Cat 6015B adalah 711.789.193 BCM.

b. *ADT 745*

Persamaan yang digunakan dalam menghitung produktifitas *ADT 745* yaitu sebagai berikut. Diketahui :

Cam	= kapasitas <i>bucket</i>	= 25
Eff	= efisiensi kerja	= 56
Sf	= faktor pengembangan	= 24.41
Cta	= <i>cycle time Dump truck</i>	= 751 detik

$$Q = \frac{3600}{Cta} \times (Cam \times EFF \times SF)$$

$$= \frac{3600}{751} \times (25 \times 56 \times 24.41)$$

$$= 163.817$$

Produktivitas Keseluruhan *ADT 745*:

Waktu Kerja	= 24 jam/ hari
Jumlah Hari Kerja	= 31 hari
Ptot	= (Q x 6 unit x 1 fleet)
	= (163.817 BCM/jam x 6 unit x 1 fleet)
	= 982.901 BCM/jam

Produksi Alat Angkut per bulan:

P	= Ptot x Jam Kerja x Jumlah Hari
	= 982.901 BCM/jam x 24 jam/hari x 31hari
	= 731.278.095 BCM/bulan

Jadi, produksi aktual alat angkut *ADT 745* adalah 731.278.095 BCM/bulan.

**Lampiran 4. Match Factor**

$$\text{Match Factor (MF)} = \frac{Na \times n \times Ctm}{Nm \times Cta}$$

Na = Jumlah alat angkut

Nm = Jumlah alat gali muat

N = Banyaknya pengisian tiap satu alat angkut

Cta = Waktu Siklus alat angkut

Ctm = Waktu Siklus alat gali muat

*Match Factor* sebelum menggunakan metode antrean :

$$\begin{aligned} \text{MF} &= \frac{6 \times 7 \times 32,92}{1 \times 751} \\ &= 1,8 \end{aligned}$$

*Match Factor* setelah menggunakan metode antrean (penambahan 1 unit *exca*) :

$$\begin{aligned} \text{MF} &= \frac{6 \times 7 \times 32,92}{2 \times 751} \\ &= 0,9 \end{aligned}$$

Untuk *cycle time* di asumsi kan sama atau tetap.

**Lampiran 5. Waktu Kerja (Shift)**

Hari	Waktu kerja (2 shift)	Jam kerja	Keterangan
Senin	05.00-17.00 & 17.00-05.00	24	Waktu normal
Selasa	05.00-17.00 & 17.00-05.00	24	Waktu normal
Rabu	05.00-17.00 & 17.00-05.00	24	Waktu normal
Kamis	05.00-17.00 & 17.00-05.00	24	Waktu normal
Jumat	05.00-17.00 & 17.00-05.00	24	Waktu normal
Sabtu	05.00-17.00 & 17.00-05.00	24	Waktu normal
Minggu	05.00-17.00 & 17.00-05.00	24	Waktu normal

**Lampiran 6.** *Data cycle time*



**Lampiran 7.** Hambatan Kerja pada PT X

<b>HAMBATAN</b>	<b>/Hari (menit)</b>
<b>JAM KERJA</b>	1440
<b>STAND BY</b>	575
Istirahat	60
Pengisian Fuel	20
Drill Blast	60
Hujan	180
Licin	90
Terlambat memulai pekerjaan	40
Terlalu cepat istirahat	29
Terlambat memulai setelah istirahat	26
Terlalu cepat mengakhiri pekerjaan	43
Ketidaktersediaan operator	27
<b>BREAKDOWN</b>	60
<b>SCHEDULE HOUR</b>	805