

SKRIPSI

**OPTIMALISASI PRODUKTIVITAS ALAT ANGKUT DENGAN
MENGUNAKAN METODE ANTRIAN PADA KEGIATAN
PENGUPASAN LAPISAN TANAH PENUTUP
DI PT. INTI BARA NUSALIMA,
PIT. BERKAT BARA PERSADA
KEC. BATIN XXIV, KABUPATEN
BATANGHARI, JAMBI**



**HIMAILDA WARDAH PRADINA
F1D116012**

**PROGRAM STUDI TEKNIK PERTAMBANGAN
JURUSAN TEKNIK KEBUMIHAN**

**FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI
UNIVERSITAS JAMBI
2023**

**OPTIMALISASI PRODUKTIVITAS ALAT ANGKUT DENGAN
MENGUNAKAN METODE ANTRIAN PADA KEGIATAN
PENGUPASAN LAPISAN TANAH PENUTUP
DI PT. INTI BARA NUSALIMA,
PIT. BERKAT BARA PERSADA
KEC. BATIN XXIV, KABUPATEN
BATANGHARI, JAMBI**

SKRIPSI

Diajukan sebagai salah satu syarat dalam melakukan penelitian dalam rangka penulisan skripsi pada program studi Teknik Pertambangan



**HIMAILDA WARDAH PRADINA
F1D116012**

**PROGRAM STUDI TEKNIK PERTAMBANGAN
JURUSAN TEKNIK KEBUMIHAN**

**FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI
UNIVERSITAS JAMBI
2023**

SURAT PERNYATAAN

Dengan ini saya menyatakan bahwa skripsi ini benar-benar karya sendiri. Sepanjang pengetahuan saya tidak terdapat karya atau pendapat yang ditulis atau diterbitkan orang lain kecuali sebagai acuan atau kutipan dengan mengikuti tata penulisan karya ilmiah yang telah lazim. Tanda tangan yang tertera dalam halaman pengesahan adalah asli. Jika tidak asli, maka saya siap menerima sanksi sesuai dengan peraturan yang berlaku.

Jambi, 17 Mei 2023

Yang menyatakan

Himailda Wardah Pradina

Nim. F1D116012

HALAMAN PENGESAHAN

Skripsi dengan judul **OPTIMALISASI PRODUKTIVITAS ALAT ANGKUT DENGAN MENGGUNAKAN METODE ANTRIAN PADA KEGIATAN PENGUPASAN TANAH PENUTUP DI PT. INTI BARA NUSALIMA, PIT. BERKAT BARA PERSADA, KEC. BATIN XXIV, KABUPATEN BATANGHARI, JAMBI** yang disusun oleh **HIMAILDA WARDAH PRADINA, NIM : F1D116012** dan telah dipertahankan di depan tim penguji pada 17 Mei 2023 dinyatakan lulus.

Susunan tim penguji :

Ketua : Wahyudi Zahar, S.T., M.T
Sekretaris : Jarot Wiratama, S.T., M.T
Anggota : Yosa Megasukma, S.T., M.T
Ir. Aditya Denny Prabawa, S.T., M.T
M. Ikrar Lagowa, S.T., M.Eng.Sc

Disetujui:

Pembimbing Utama Pembimbing Pendamping

Wahyudi Zahar, S.T., M.T Jarot Wiratama, S.T., M.T
NIP. 199008032018031001 NIP. 199009272019031015

Diketahui:

Dekan Ketua Jurusan
Fakultas Sains dan Teknologi Fakultas Sains dan Teknologi
Universitas Jambi Universitas Jambi

Drs. Jefri Marzal, M.Sc.D.I.T Dr. Lenny Marlinda, S.T., M.T
NIP. 196806021993031004 NIP. 197907062008122002`

SUMMARY

PT. Berkat Bara Persada is one of the industrial companies engaged in coal mining. In the process of stripping the overburden layer, utilizing a series of digging and loading equipment (excavators) and conveyances (dumptrucks) to transport material from the loading point to the disposal site, this is done by processing data at Pit 3 in the process of transporting overburden dump truck queues occur at several road points and long waiting times at the material loading stage, this can lead to low productivity of diggers and hauling equipment so that overburden production targets are not achieved. The type of research used is regarding the achievement of productivity targets by using the queuing method. Therefore, so that the desired production target can be achieved optimally and can maximize the use of the number of dump trucks, so it is necessary to make efforts to find the right queuing model with the queuing method to optimize the tool's working hours, and find out the causes and actions used to meet the target as well as planning the need for transportation equipment so that there is no buildup on the work front and dumping area. The optimal composition of diggers and hauling equipment based on queuing theory for overburden stripping activities is 1 unit of Kobelco SK-330LC excavator serving 4 units of FAW dump trucks. The queue process that is carried out should have scheduled the departure of the front transportation means with a distance of 2,42 minutes for each means of transportation. So there are no queues in the mining area.

Keywords : *Overburden, Production, Dump truck, Queue Method*

RINGKASAN

Berkat Bara Persada merupakan salah satu perusahaan industri yang bergerak dalam bidang pertambangan batubara. Dalam proses pengupasan lapisan tanah penutup, memanfaatkan rangkaian kerja alat gali dan muat (*excavator*) dan alat angkut (*dumptruck*) untuk mengangkut material dari *loading point* ke tempat pembuangan, hal ini dilakukan dengan mengolah data di Pit 3 dalam proses pengangkutan overburden terjadi antrian *dump truck* di beberapa titik jalan dan waktu tunggu yang lama pada tahap pemuatan material, hal ini dapat menyebabkan produktivitas alat gali dan alat angkut menjadi kecil sehingga target produksi overburden tidak tercapai. Jenis penelitian yang digunakan adalah mengenai pencapaian target produktivitas dengan menggunakan metode antrian. Maka dari itu agar target produksi yang diinginkan dapat tercapai secara optimal dan dapat memaksimalkan penggunaan alat jumlah *dump truck*, sehingga perlu dilakukan upaya dengan mencari model antrian yang tepat dengan metode antrian untuk mengoptimalkan jam kerja alat, serta mengetahui penyebab dan tindakan yang digunakan untuk memenuhi target serta merencanakan kebutuhan alat angkut agar tidak terjadi penumpukan pada *front* kerja dan *area dumping*. Komposisi alat gali dan alat angkut yang optimal berdasarkan teori antrian pada kegiatan pengupasan tanah penutup adalah 1 unit excavator Kobelco SK-330LC yang melayani 4 unit dump truck FAW. Proses antrian yang dilakukan seharusnya sudah menjadwalkan pemberangkatan sarana angkut paling depan dengan jarak tempuh 2,42 menit untuk masing-masing sarana angkut. Sehingga tidak ada antrian di area tambang.

Kata Kunci: Overburden, Produksi, Alat Angkut, Metode antrian

RIWAYAT HIDUP



Penulis bernama Himailda Wardah Pradina, dilahirkan pada tanggal 17 Mei 1998, Provinsi Jambi. Penulis merupakan putri dari pasangan suami istri Bapak Saiful Ibad dan Ibu Halijah. Alamat rumah penulis yaitu Jalan Raja Yamin, Lrg. Bunga Tanjung No. 33 Rt. 01 Kec. Telanaipura Kota Jambi Provinsi Jambi. Pada tahun 2010 penulis lulus dari SD Islam Al-Falah Kota Jambi, pada tahun 2013 lulus dari SMP Negeri 1 Kota Jambi, dan pada tahun 2016 lulus dari SMA Negeri 5 Kota Jambi. Kemudian pada tahun 2016 penulis melanjutkan pendidikan di Perguruan Tinggi Negeri, tepatnya di Universitas Jambi (UNJA), khususnya di Fakultas Sains dan Teknologi, Program Studi Teknik Pertambangan. Demikian riwayat hidup Penulis untuk diketahui.

KATA PENGANTAR

Segala puji dan syukur bagi Tuhan Yang Maha Esa atas berkat-Nya, penulis dapat menyelesaikan skripsi ini dengan baik. Skripsi ini ditujukan untuk memenuhi salah satu syarat kelulusan program Sarjana di Program Studi Teknik Pertambangan, Jurusan Teknik Kebumihan, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Jambi. Penulis memahami tanpa bantuan, doa, dan bimbingan dari semua orang akan sangat sulit untuk menyelesaikan skripsi ini. Maka dari itu penulis ingin mengucapkan terima kasih sebesar-besarnya atas dukungan dan kontribusi kepada :

1. Bapak M. Ikrar Lagowa, S.T., M.Eng. selaku Ketua Program Studi Teknik Pertambangan
2. Bapak Wahyudi Zahar, S.T., M.T., selaku Pembimbing pertama yang telah membimbing selama penyusunan Skripsi ini.
3. Bapak Jarot Wiratama, S.T., M.T. selaku Pembimbing kedua yang telah membimbing dan mengarahkan selama penyusunan skripsi.
4. Seluruh Dosen Jurusan Teknik Kebumihan khususnya Teknik Pertambangan yang telah memberikan semangat serta ilmunya sehingga penulis dapat menyelesaikan semua tahapan perkuliahan hingga penulisan skripsi ini
5. Bapak Syukri S.T selaku pembimbing lapangan yang telah membimbing dilapangan dalam pengambilan data dan penyusunan laporan.
6. Seluruh karyawan PT Berkat Bara Persada yang telah memberikan kesempatan, ilmu dan pengalaman yang tak ternilai.
7. Terutama kepada Orangtua ayah dan ibu yang telah memberikan saya dukungan dan doa dalam penyelesaian skripsi.
8. Terimakasih kepada Batu 2016 yang selalu mendoakan dan memberikan semangat kepada penulis.
9. Serta semua pihak yang terlibat dan tidak dapat disebutkan satu persatu semoga Allah membalas kebaikannya.

Penulis menyadari bahwa skripsi ini masih terdapat kekurangan baik dari segi susunan kalimat maupun tata bahasanya. Oleh karena itu saran dan kritik yang bersifat membangun sangat diharapkan bagi penulis demi kesempurnaan skripsi ini. Semoga skripsi ini dapat berguna dan bermanfaat bagi pembaca sebagai acuan dalam pembelajaran.

Jambi, 17 Mei 2023

Penulis

DAFTAR ISI

SURAT PERNYATAAN	i
HALAMAN PENGESAHAN	ii
SUMMARY	iii
RINGKASAN	iv
RIWAYAT HIDUP	v
KATA PENGANTAR	vi
DAFTAR ISI	vii
DAFTAR GAMBAR	x
DAFTAR TABEL	xi
I PENDAHULUAN	1
1.1. Latar Belakang.....	1
1.2. Rumusan Permasalahan	2
1.3. Tujuan Penelitian.....	2
1.4. Hipotesis.....	3
1.5 Batasan Masalah	3
1.6. Manfaat	3
II TINJAUAN PUSTAKA.....	4
2.1 Overburden.....	4
2.2 Pemilihan Alat Mekanis.....	5
2.3 Alat Gali Muat dan Alat Angkut.....	5
2.3.1 Alat Gali Muat	5
2.3.2 Alat Angkut	6
2.4 Waktu.....	6
2.4.1 Waktu Edar (<i>Cycle Time</i>) Alat Angkut.....	7
2.4.2 Perhitungan Efisiensi Kerja Alat muat dan Alat angkut	8
2.5 Pola Pemuatan.....	9
2.6 Faktor Efisiensi Kerja.....	10

2.7 Produktivitas Alat Muat	11
2.8 Produktivitas Alat Angkut	11
2.9 Analisis Produksi Kerja Alat berat	12
2.10 Keserasian Kerja Alat Muat dan Alat Angkut	12
2.11 Teori Antrian.....	13
2.12 Penerapan Teori Antrian	14
2.13 Penentuan Model Antrian.....	14
2.14 Probabilitas Keadaan Antrian.....	15
2.14.1 Perhitungan L_q1 , L_q3 , W_q1 dan W_q3	16
2.14.2 Jumlah Dump Truck Berdasarkan Metode Antrian	17
III METODOLOGI PENELITIAN	18
3.1 Lokasi Penelitian dan Kesampaian Daerah.....	18
3.2 Peralatan.....	18
3.3 Metode Penelitian.....	18
3.4 Persiapan Penelitian.....	18
3.5 Pengumpulan Data	18
3.6 Pengolahan Data.....	19
3.7 Analisis Data	20
3.8 Gambar Bagan Alir Penelitian	21
IV HASIL DAN PEMBAHASAN.....	22
IV.1 Kondisi Daerah Penelitian	22
IV. 2 Komposisi Alat Yang Tersedia	22
IV.3 Efisiensi Kerja Alat Gali Muat dan Alat Angkut.....	23
IV.4 <i>Cycle Time</i> dan <i>Match Factor</i> Alat Gali Muat dan Alat Angkut	26
IV.5 Perhitungan Jumlah Alat Angkut Optimum Berdasarkan Metode Kapasitas Produksi	28
IV.6 Perhitungan Kebutuhan Alat Angkut Optimum dengan Menggunakan Teori Antrian.....	29
V KESIMPULAN DAN SARAN	39
5.1 KESIMPULAN.....	39

5.2 SARAN.....	39
DAFTAR PUSTAKA	40
LAMPIRAN 1.....	41

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. Alat Gali Muat (<i>Excavator</i>) Kobelco SK330	6
Gambar 2. Alat Angkut (Dump Truck) FAW	6
Gambar 3. Sistem Antrian Alat Muat dan Dump Truck	14
Gambar 4. Antrian Alat Angkut pada kegiatan pengupasan overburden	30
Gambar 5. Simulasi Penjadwalan Keberangkatan Ideal pada Kegiatan Pengupasan Overburden	36

DAFTAR TABEL

Tabel 1. Rata-rata waktu edar (<i>cycle time</i>) alat muat.....	7
Tabel 2. Rata-rata waktu edar(<i>cycle time</i>) alat angkut.....	8
Tabel 3. Faktor Efisiensi Alat Mekanis	9
Tabel 4. Kapasitas Alat pada Pengupasan Overburden	23
Tabel 5. Waktu Jam Kerja	24
Tabel 6. Distribusi Waktu Hambatan Alat Gali Muat dan Alat Angkut	25
Tabel 7. Rekapitulasi Hasil Perhitungan Efisiensi Kerja Aktual	25
Tabel 8. Kemampuan Produksi Alat.....	28
Tabel 9. Hasil Perhitungan Tingkat Pelayanan.....	32
Tabel 10. Jumlah Unit Alat angkut dan Waktu Edar Aktual	34
Tabel 12. Perbandingan Produksi Aktual dan Setelah Penjadwalan	38

I PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Dalam kegiatan pertambangan, tercapainya target produksi dari jumlah yang telah direncanakan merupakan salah satu hal yang paling utama. Target produksi akan tercapai jika proses eksploitasi dilakukan secara efektif dan efisien Indonesianto (2011). Jika dalam proses pengangkutan overburden terjadi antrian *dump truck* di beberapa titik jalan dan waktu tunggu yang lama pada tahap pemuatan material, hal ini dapat menyebabkan produktivitas alat gali muat dan alat angkut menjadi kecil sehingga target produksi overburden tidak tercapai untuk mencapai target produksi yang telah direncanakan adalah salah satu hal yang paling penting. Tujuan tersebut dapat tercapai jika menggunakan metode penambangan yang efisien.

Dalam proses pengupasan lapisan tanah penutup, memanfaatkan rangkaian kerja alat gali dan muat (*excavator*) dan alat angkut (*dumptruck*) untuk mengangkut material dari *loading point* ke tempat pembuangan, pengupasan *overburden* merupakan salah satu kegiatan yang sangat berpengaruh terhadap pemenuhan target pencapaian produksi. Diperlukan kinerja keseluruhan alat mekanis yang optimal. Salah satu permasalahan yang sering terjadi pada kegiatan operasional penambangan adalah tidak tercapainya target produksi yang direncanakan salah satunya disebabkan oleh sistem kerja alat-alat mekanis yang tidak efisien, disebabkan oleh adanya waktu yang hilang percuma karena kondisi alat-alat angkut yang harus menunggu, adanya kondisi peralatan yang rusak menunggu perbaikan dan kondisi-kondisi lainnya yang tidak terduga dan kurang tepatnya perhitungan keserasian alat gali muat dengan alat angkut (*match factor*), sehingga efisiensi kerja alat menurun yang ditimbulkan oleh adanya waktu hambatan pada saat jam kerja dan juga ketidakserasian sistem penjadwalan yang dibuat.

PT. Berkat Bara Persada pada bulan Juli mempunyai target produksi yaitu sebesar 345.000 BCM/Bulan. Akan tetapi produksi overburden yang didapat sebesar 213.813 BCM/Bulan. Maka dari itu agar target produksi yang diinginkan dapat tercapai secara optimal dan dapat memaksimalkan penggunaan alat jumlah *dump truck*, sehingga perlu dilakukan upaya dengan mencari model antrian yang tepat dengan metode antrian untuk mengoptimalkan jam kerja alat, serta mengetahui penyebab dan tindakan yang digunakan untuk memenuhi target serta merencanakan kebutuhan alat angkut agar tidak terjadi penumpukan pada *front* kerja dan *area dumping*. Ketersediaan jumlah alat angkut dan alat muat adalah hal yang sangat penting bagi kelangsungan produksi.

Pada proses analisis ini dapat digunakan metode kapasitas produksi yang berdasarkan data produktivitas alat gali muat dan alat angkut. Selain hal itu juga bisa menggunakan metode antrian yang didasarkan pada *cycle time* dari alat gali muat dan alat angkut yang digunakan pada kegiatan pengupasan *overburden*, akan dilakukan kajian rendahnya produktivitas disebabkan antrian pada proses pelayanan di *loading point*. Antrian menghasilkan waktu tunggu ini yang menyebabkan bertambahnya waktu edar. Dari hasil analisis tersebut akan menghasilkan jumlah alat angkut yang optimal yang dapat dilayani oleh alat gali muat sehingga dapat meningkatkan produktivitas untuk mencapai target produktivitas yang diinginkan. Untuk mengatasi hal ini maka perlu mengetahui keserasian alat gali muat dan alat angkut yang berada di lapangan serta pembuatan jadwal pelayanan keberangkatan dan kedatangan agar alat gali muat dan alat angkut dapat bekerja secara maksimal.

Berdasarkan uraian yang telah dijelaskan penulis bermaksud melakukan penelitian dengan judul "**OPTIMALISASI PRODUKTIVITAS ALAT GALI MUAT DAN ALAT ANGGUT DENGAN MENGGUNAKAN METODE ANTRIAN PADA KEGIATAN PENGUPASAN LAPISAN TANAH PENUTUP DI PT. BERKAT BARA PERSADA, KEC. BATIN XXIV, KABUPATEN BATANGHARI, JAMBI**"

1.2. Rumusan Permasalahan

Adapun rumusan permasalahan didalam penelitian ini berdasarkan identifikasi masalah adalah sebagai berikut :

1. Berapakah *Cycle Time* yang diperlukan oleh masing-masing Alat Gali Muat dan Alat Angkut?
2. Berapa Jumlah Produktivitas Alat Gali Muat dan Alat Angkut berdasarkan kapasitas produksi?
3. Berapakah jumlah yang dibutuhkan Alat Gali Muat dan Alat Angkut optimal berdasarkan metode antrian?
4. Bagaimana pengaruh metode antrian terhadap produktivitas Alat Angkut?

1.3. Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Mengetahui *Cycle Time* Alat Gali Muat dan Alat Angkut pada kegiatan pengupasan lapisan tanah penutup.
2. Mengetahui Nilai Produktivitas Alat Gali Muat dan Alat Angkut dalam kegiatan pengupasan *Overburden*.

3. Mengetahui pengaruh metode antrian terhadap produktivitas Alat Angkut.
4. Menghitung jumlah Alat Gali Muat dan Alat Angkut yang optimal berdasarkan metode antrian.

1.4. Hipotesis

Hipotesis dalam penelitian ini dapat diasumsikan jumlah produktivitas dan waktu edar (*cycle time*) alat gali muat dan alat angkut dapat mempengaruhi jumlah alat angkut optimal. Sehingga dapat digunakan pada kegiatan pengupasan *overburden* dan adanya tidak keserasian alat yang tidak serasi sehingga dilakukan penentuan model antrian yang tepat pada alat gali muat dan alat angkut agar mencapai target yang diinginkan pada proses pengupasan tanah penutup (*Overburden*).

1.5 Batasan Masalah

Batasan masalah dari penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Lokasi Penelitian terletak di PT. Berkat Bara Persada, Kec. Batin XXIV, Kabupaten Batanghari, Jambi.
2. Alat Gali Muat dan Alat Angkut yang diteliti adalah peralatan mekanis yang digunakan untuk kegiatan pengupasan lapisan tanah penutup.
3. Kegiatan penelitian ini menggunakan data efektifitas kerja alat, produktivitas alat, faktor keserasian alat, target produksi *overburden* efisiensi kerja serta waktu edar alat gali muat dan alat angkut.

1.6. Manfaat

Manfaat dari penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Pihak Mahasiswa dan Penulis
Menambah pengetahuan dan memberikan referensi terkait kajian teknis produksi alat gali muat dan alat angkut menggunakan metode antrian pada pengupasan tanah penutup (*Overburden*) serta menjadi bahan pengajuan saran yang tepat kepada perusahaan.
2. Pihak Tenaga Pengajar
Memberikan referensi maupun penjelasan tentang metode antrian yang dipakai alat gali muat dan angkut pengupasan tanah penutup (*Overburden*) kepada mahasiswa.
3. Pihak Perusahaan
Sebagai bahan pertimbangan optimasi dalam pencapaian target produksi pengupasan tanah penutup (*Overburden*) dan alat-alat mekanis yang digunakan pada saat pengupasan tanah penutup (*Overburden*).

II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Overburden

Menurut Tenrisukki (2003), Overburden merupakan semua lapisan tanah/batuan yang berada di atasnya sekaligus menutupi lapisan mineral berharga tersebut agar diambil terlebih dahulu sebelum mampu menggali mineral berharga tersebut. Kajian situasi terhadap penggalian dan pemuatan dapat dilakukan melalui pengawasan situasi di dalam disiplin dan elemen yang mempengaruhi fungsi produksi alat mekanik.

Berdasarkan teknik penambangan yang dilakukan, ada beberapa teknik pembuangan OB yang sesuai untuk pada penambangan terbuka, yaitu:

- a. *Backfilling* adalah penimbunan kembali ke tempat bekas galian yang telah diambil bahan galian.
- b. *Benching System*, adalah pengupasan lapisan tanah penutup dengan sistem jenjang, teknik ini cocok untuk lapisan tanah penutup yang tebal dan lapisan mineral atau batubara yang tebal.
- c. *Sistem Multi Bucket Excavator* adalah pemindahan lapisan penutup ke area di mana batubara telah digali atau ke lokasi pemindahan khusus. Teknik penggalian ini sama dengan teknik *Bucket Wheel Excavator (BWE)*, cocok untuk lapisan penutup dimana material yang halus serta tidak lagi lengket.
- d. *Drag Scraper System*, adalah teknik yang biasanya langsung diamati dengan mengambil bahan galian setelah overburden disingkirkan, namun bisa juga digunakan terlebih dahulu setelah bahan galian ditambang, cocok untuk overburden dengan material halus atau lepas.
- e. Teknik tradisional adalah campuran alat gali (*bulldozer*), alat muat (*track loader*), dan alat angkut (*dump truck*).

Bahan-bahan di alam yang ditemukan pada keadaan stabil serta terkonsolidasi dengan baik, sehingga paling sederhana sebagian kecil dari tanah kosong atau celahnya penuh dengan udara. Ketika material tersebut diambil dari tempat aslinya, akan terjadi pengembangan. Jumlah tanah yang telah diambil (*volume loose*) biasanya lebih banyak daripada jumlah tanah asli di alam (*volume insitu*). Hal ini karena dalam proses penggalian mungkin ada perubahan dalam kepadatan material. Peningkatan volume ini disebut dengan pengembangan tanah, hal yang dimaksud dengan faktor pengembangan (*swell factor*) yaitu merupakan perbandingan antara kuantitas tanah asli di alam dengan kuantitas yang telah tergali (Indonesianto, 2011).

2.2 Pemilihan Alat Mekanis

Analisis alat mekanis merupakan salah satu langkah yang harus diselesaikan sebelum menghitung produktivitas alat mekanis, khususnya alat gali-muat dan angkut.

Bahan-bahan di alam yang ditemukan pada keadaan stabil serta terkonsolidasi dengan baik, sehingga paling sederhana sebagian kecil dari tanah kosong atau celahnya penuh dengan udara. Ketika material tersebut diambil dari tempat aslinya, akan terjadi pengembangan. Jumlah tanah yang telah diambil (*volume loose*) biasanya lebih banyak daripada jumlah tanah asli di alam (*volume insitu*). Hal ini karena dalam proses penggalian mungkin ada perubahan dalam kepadatan material. Peningkatan volume ini disebut dengan pengembangan tanah, hal yang dimaksud dengan faktor pengembangan (*swell factor*) yaitu merupakan perbandingan antara kuantitas tanah asli di alam dengan kuantitas yang telah tergali (Indonesianto, 2011).

Menurut Rochmanhadi (1985), Produktivitas adalah laju di mana material dapat dipindahkan menurut satuan waktu (biasanya per jam). Pemindahan material dihitung melalui volume (m^3 atau cuyd), sedangkan pada batubara juga merupakan kemampuan dalam ton. Produktivitas alat berat bergantung pada kemampuan bucket, faktor bucket, *cycle time*, dan faktor koreksi perusahaan. Faktor-faktor yang berpengaruh terhadap produktivitas adalah beberapa hal yang memungkinkan untuk mempengaruhi dalam kondisi operasi. Salah satu yang menjadi tolak ukur dapat digunakan untuk mengetahui apakah akibat dari hasil kerja (keberhasilan) dari suatu alat mekanis pemindah tanah adalah tercapai atau tidak adalah jumlah produksi yang dapat dilakukan melalui sistem berat yang digunakan. Oleh karena itu, upaya untuk mendapatkan target produksi yang berlebihan akan menjadi perhatian yang khusus.

2.3 Alat Gali Muat dan Alat Angkut

2.3.1 Alat Gali Muat

Excavator adalah alat mekanis yang berfungsi sebagai alat penggali dan memuat material. Alat penggalian – peralatan pemuatan yang biasanya dipakai di area penambangan, alat tersebut bisa digunakan untuk menggali dan mengangkut material.



Gambar 1. Alat Gali Muat (*Excavator*) Kobelco SK330

Cara bekerja dari alat gali, alat gali pada jenis excavator berperan penggalian (*cutting*) melalui penempatan sendiri di atas jenjang (*bench*). Setelah dipper terisi penuh, dipper diangkat lalu berayun ke arah truk yang ditempatkan untuk dimuat dan dipper akan menumpahkan bebannya ke truk (*dump truck*).

2.3.2 Alat Angkut

Alat angkut adalah suatu alat mekanis yang berfungsi untuk memindahkan material atau bahan galian dari satu tempat ke yang tempat lain.



Gambar 2. Alat Angkut (Dump Truck) FAW

2.4 Waktu

Menurut Indonesianto (2011), waktu tunda dapat terdiri dari batasan-batasan yang muncul sepanjang kegiatan penambangan. Hal ini dapat memiliki efek pada waktu kerja yang efektif. Hambatan yang timbul dibagi menjadi 2, yaitu:

Hambatan yang dapat dihindari. Misalnya: keterlambatan kerja, istirahat yang terlalu awal, dan sebagainya.

Hambatan yang tidak dapat dihindari. Contoh: cuaca, kerusakan sistem. Adanya batasan yang muncul selama jam berjalan akan menghasilkan waktu kerja efektif lebih kecil.

Dengan mengetahui dari waktu tetap dan waktu tidak tetap, siklus kerja alat mekanik dapat dihitung. Waktu siklus adalah jumlah waktu konstan dan waktu tidak tetap. Waktu siklus ini akan sangat berpengaruh pada sistem mekanik karena waktu siklus merupakan aspek perhitungan dalam menghitung berbagai perjalanan yang dapat diselesaikan dalam satu jam berjalan. Panjangnya waktu siklus akan menghasilkan produksi yang berlebihan dan sebaliknya.

2.4.1 Waktu Edar (*Cycle Time*) Alat Angkut

Waktu edar merupakan jumlah waktu yang diperlukan dengan bantuan alat mekanis, masing-masing alat muat dan alat angkut untuk melakukan satu siklus produksi dari mulai sampai berhenti dan bersiap untuk memulai lagi.

1. Waktu edar alat gali muat

Waktu edar dari alat gali muat yaitu waktu penggalian material (*Digging*), waktu swing isi (*Swing Load*), waktu menumpahkan muatan (*Passing*), waktu swing kosong (*Swing Empty*). Maka formulasi perhitungan waktu edar alat gali muat yaitu: (Indonesianto, 2011).

$$CT_{gm} = T_g + T_{si} + T_t + T_{sk}$$

Keterangan :

CT_{gm} = Waktu edar alat gali muat (s)

T_g = Waktu menggali material/*Digging* (s)

T_{si} = Waktu swing Load (s)

T_t = Waktu menumpahkan muatan/*Passing* (s)

T_{sk} = Waktu swing kosong (s)

Tabel 1. Rata-rata waktu edar (*cycle time*) alat muat

Waktu	Cycle time				Total
	Gali (Am)	Swing isi (Bm)	Tumpukan (Cm)	Swing kosong (Dm)	
Detik					

2. Waktu edar alat angkut

Secara teori waktu edar dari alat angkut yaitu waktu pengisian, waktu angkut material, waktu manuver dumping, waktu dumping, waktu kembali kosong, waktu manuver loading. Namun hal ini juga harus disesuaikan dengan kondisi sebenarnya dilapangan, sehingga perhitungan cycle time alat angkut adalah sebagai berikut :

$Cycle\ time\ DT = waitingfront + manuver\ loading + loading + angkut\ isi + manuver\ dumping + dumping\ stockpile + kembali\ kosong$

Keterangan :

- Waitingfront* = waktu tunggu di front
- manuver loading* = waktu alat angkut mundur ke excavator
- loading* = waktu pengisian
- angkut isi* = waktu alat angkut menuju ke *disposal*
- manuver dumping* = waktu alat angkut mundur di *disposal*
- dumping disposal* = waktu alat angkut menumpahkan material di *disposal*
- kembali kosong = waktu alat angkut kembali ke *front*

Tabel 2. Rata-rata waktu edar(cycle time) alat angkut

Waktu	Waktu tunggu loading (Aa)	Angkut material (Ba)	Manuver loading (Ca)	Dumping (Da)	Waktu angkut kosong (Ea)	Loading (Fa)	Total
Menit							

Waktu edar mungkin sangat penting dalam mempengaruhi produksi kerja dikarenakan waktu edar akan menjadi variabel dalam menghitung jumlah rate yang dapat diselesaikan dalam satu jam berjalan. Semakin kecil waktu edar, maka semakin besar pula jumlah produktivitas yang dapat dihasilkan (Indonesianto, 2011).

2.4.2 Perhitungan Efisiensi Kerja Alat muat dan Alat angkut

Effisiensi kerja adalah perbandingan antara waktu berjalan efektif dan waktu berjalan yang tersedia, yang dinyatakan dalam persen (%) (Liemin, 2018). Effisiensi kerja ini akan berpengaruh pada fungsi produksi suatu alat. Faktor manusia, mesin (alat), situasi iklim dan situasi jalan yang biasa akan menentukan effisiensi kinerja. Persamaan yang dapat digunakan untuk menghitung effisiensi kerja (Shaddad, 2017).

$$MA = \frac{w}{W+R} \times 100\%$$

$$PA = \frac{w}{W+R+S} \times 100\%$$

$$UA = \frac{w}{W+S} \times 100\%$$

$$EU = \frac{w}{W+R+S} \times 100\%$$

Keterangan:

W = *Working Hours* atau jumlah kerja alat

R = *Repair Hours* atau jumlah jam untuk perbaikan

S = Jumlah Jam Standby

MA (*Mechanical Availability*) adalah sejauh mana kemampuan sistem untuk melakukan kegiatan produksi melalui pertimbangan kurangnya waktu karena alasan mekanis.

PA (*Physical Availability*) merupakan laporan keadaan fisik sitem yang digunakan.

UA (*Use of Availability*) merupakan tingkat daya guna alat untuk kegiatan produksi.

EU (*Effective Utilization*) yaitu menunjukkan berapa persen dari seluruh waktu kerja yang tersedia dapat dimanfaatkan untuk kerja produktif atau sama dengan efisiensi kerja.

Berdasarkan pada Permen PU No.11/PRT/M/2013 yang menyatakan bahwa faktor efisiensi kerja alat mekanis dibagi menjadi 4 faktor yang terdapat pada tabel 3 mana faktor efisiensi 0,58 dikatakan dalam kondisi operasi yang kurang, 0,67 pada keadaan agak kurang, 0,75 pada keadaan sedang dan 0,83 berarti kondisi operasi dalam keadaan baik.

Tabel 3. Faktor Efisiensi Alat Mekanis

Kondisi Operasi	Faktor Efisiensi
Baik	0.83
Sedang	0.75
Agak Kurang	0.67
Kurang	0.58

2.5 Pola Pemuatan

Menurut Indonesianto (2011), Pola pemuatan berdasarkan dari posisi alat angkut untuk dimuati hasil galian alat muat :

Top Loading, adalah alat angkut berada lebih rendah dari alat muat

Bottom Loading, adalah alat muat dijenjang yang sama dengan posisi alat angkut.

Pola pemuatan berdasarkan dari jumlah penempatan posisi alat angkut untuk dimuati :

Single Back Up, yaitu Alat Angkut memposisikan untuk dimuati pada satu tempat.

Double Back Up, yaitu Alat Angkut memposisikan untuk dimuati pada dua tempat.

Triple Back Up, yaitu Alat Angkut memposisikan untuk dimuati pada tiga tempat.

Bottom Loading, yaitu alat muat dijenjang yang sama dengan posisi alat angkut.

2.6 Faktor Efisiensi Kerja

Effisiensi kerja adalah rincian produksi yang harus dipertimbangkan untuk mendapatkan tingkat produksi alat sesuai dengan satuan waktu, tingkat kinerja maksimum diantisipasi dari operator, khususnya individu yang menjalankan atau mengoperasikan unit alat, namun jika efisiensi kerja terlihat rendah, tidak selalu itu tujuan kemalasan operator bersangkutan, mungkin ada alasan berbeda yang tidak dapat dihindari, yang meliputi cuaca, kerusakan perangkat yang tiba-tiba, kabut, dll.

Ada unsur-unsur yang menjadi alasan ingin menghitung unsur-unsur efisiensi kerja, terutama unsur mesin dan unsur manusia karena operatornya. Dari sudut pandang segi alat, sangat tidak mungkin untuk menerapkan alat tanpa batas waktu tanpa istirahat. Jika hal ini tidak dari operator, dikhawatirkan alat tersebut akan rusak lebih awal dari pada umurnya berakhir. Efisiensi kerja ini akan berpengaruh pada hasil produksi dari alat. Elemen manusia, mesin (alat) situasi iklim dan situasi kerja biasa akan menentukan kuantitas efisiensi kerja (Indonesianto, 2011).

Adapun persamaan yang didapat digunakan untuk menghitung efisiensi kerja adalah sebagai berikut:

$$WE = Wtp - (Whd + Wtd)$$

$$Ek = \frac{We}{Wtp} \times 100\%$$

Keterangan:

We= Waktu kerja Efektif (menit)

Wtp= Waktu kerja yang tersedia (menit)

Whd= Waktu hambatan yang dapat dihindari (menit) Wtd= Waktu hambatan yang tidak dapat dihindari (menit) Ek= Efisiensi kerja (%)

Waktu kerja yang terhambat dikarenakan kurangnya waktu yang disengaja (*Available Delay*) yang meliputi waktu untuk pergantian shift, waktu

persiapan ganti shift, dan waktu untuk makan siang. Sedangkan kerugian waktu yang tidak direncanakan (*unavailable delay*) yang meliputi hujan, inspeksi tambang, dan peralatan yang rusak.

Dalam membuat rencana sebuah proyek, produktivitas per jam dari alat yang diinginkan adalah produktivitas normal perangkat dalam situasi yang sempurna yang ditingkatkan melalui sarana komponen yang disebut efisiensi kerja (Rochmanhadi, 1985).

2.7 Produktivitas Alat Muat

Produktivitas dari alat muat serta alat angkut menurut (Tenrisukki, 2003), bisa dibedakan menjadi dua yaitu produktivitas tenaga kerja dan produktivitas alat mekanis.

Produktivitas alat merupakan pembatasan kemampuan alat yang bekerja. Hubungan dari antara tenaga kerja yang diinginkan, tenaga kerja yang tersedia dan tenaga yang dapat digunakan dan berdampak pada produktivitas sistem yang berat.

Alat pemuatan digunakan untuk memuat lapisan *overburden* ke dalam *dumpruck* untuk dipindahkan ke area pembuangan. Produktivitas alat gali muat bisa dihitung dengan rumus:

$$Q = \frac{3600 \times q \times E \times SF}{CTm}$$

$$Q = \frac{3600 \times (q1 \times k) \times E \times SF}{CTm}$$

Keterangan:

Q = Kapasitas produksi alat gali muat (BCM/jam)

q = Kapasitas bucket alat gali muat (m³)

q1 = Kapasitas munjung bucket (m³)

E = Efisiensi optimal (%)

SF = Swell Factor

CTm = Cycle Time Alat muat (detik)

2.8 Produktivitas Alat Angkut

Untuk mengetahui kemampuan produktivitas dari alat angkut dapat dihitung menggunakan rumus:

$$Q = \frac{3600 \times q \times E \times SF}{CTa}$$

$$Q = \frac{3600 \times (q1 \times k) \times E \times SF}{CTa}$$

Keterangan:

Q = kapasitas produksi alat gali muat (BCM/jam)

q = Kapasitas bucket alat gali muat (m³)

q1 = Kapasitas munjung bucket (m³)

E = Efisiensi optimal (%)

SF = Swell Factor

CTa = Cycle Time Alat muat (detik)

2.9 Analisis Produksi Kerja Alat berat

Produksi kerja sistem alat berat dapat mempengaruhi melalui cara 3 utama, yaitu: waktu siklus, jenis material, dan komponen efisiensi atau komponen koreksi. Dari ketiga unsur tersebut, jenis material merupakan komponen yang sangat menentukan, sebab pada dasarnya waktu siklus dan unsur efisiensi kerja sangat bergantung terhadap jenis material yang diproses, dampak dari jenis material ini tidak selalu sama untuk semua jenis alat.

Secara umum, produksi dari sistem alat berat apa pun memiliki jenis dan contoh prinsip perhitungan yang sama. Tahapan perhitungannya tidak akan jauh beda. Ada 4 langkah utama dalam menghitung produksi kerja, yaitu:

1. Menghitung kapasitas sebenarnya, adalah menghitung material yang dibawa dalam satu siklus kerja.
2. Menghitung waktu siklus, waktu siklus dihitung untuk mendapatkan variasi siklus dalam langkah per jam.
3. Menghitung produksi kerja kasar, khususnya menghitung produksi kerja yang diharapkan tanpa mempertimbangkan elemen efisiensi dan elemen koreksi.
4. Menghitung produksi kerja yang sebenarnya, khususnya mengetahui penentuan sistem alat berat dengan cara mempertimbangkan semua elemen yang mempengaruhinya.

2.10 KecerAsian Kerja Alat Muat dan Alat Angkut

Menurut Hartman (1987), faktor keserasian berfungsi untuk menentukan kisaran alat transportasi yang sesuai untuk melayani satu alat penggali sehingga tercipta suatu hubungan kerja yang baik dan serasi. Sedangkan untuk menilai dari keserasian kerja alat gali muat dan alat angkut dapat menggunakan rumus faktor keserasian dari kerja alat yaitu:

$$MF = \frac{n \times nH \times CL}{nl \times CH}$$

Keterangan:

MF = Match Factor

nH = Jumlah alat angkut

n = Banyaknya pengisian bucket

CL = Waktu edar alat gali muat (menit)

nL = Jumlah alat gali muat

cH = Waktu edar alat angkut (menit)

Jika hasil perhitungan menunjukkan bahwa $MF < 1$ maka excavator yang dibongkar akan sering menganggur. Jika $MF=1$ maka alat gali-muat dan alat angkut tidak ada yang menganggur. Apabila jika $MF > 1$ maka alat angkut lebih sering menganggur.

2.11 Teori Antrian

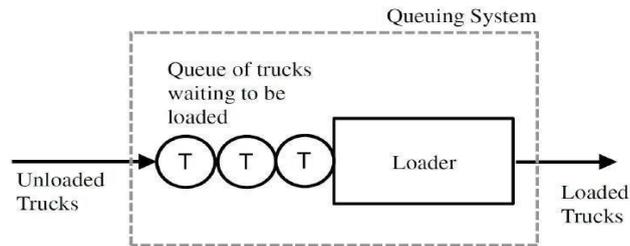
Konsep antrian menjadi ditentukan dan berkembang dengan bantuan oleh

A.K. Erlang, seorang insinyur dari Denmark yang bekerja untuk sebuah perusahaan ponsel di Kopenhagen pada tahun 1910. Masalah aslinya Erlang paling baik ditangani dengan perhitungan keterlambatan (*delay*) dari seorang operator, kemudian pada tahun 1917 penelitian berlanjut untuk menghitung kesibukan banyak operator.

Teori antrian merupakan konsep yang mengeluarkan tampilan matematis dari antrian atau baris penungguan. Pembentukan jejak penungguan adalah fenomena yang tidak biasa yang terjadi ketika keinginan untuk pembawa melebihi potensi untuk menawarkan pembawa itu. Keputusan mengenai jumlah potensi ini harus dapat ditentukan, meskipun sebenarnya tidak ada prediksi tertentu yang dapat dibuat tentang kapan alat yang diinginkan operator akan datang atau berapa lama waktu yang dibutuhkan untuk menawarkan operator. Teori antrian sendiri kini tak langsung memecahkan masalah ini. Namun, konsep ini memberikan kontribusi catatan penting untuk membuat seleksi semacam ini dengan menggunakan prediksi beberapa karakteristik dari baris penungguan, yang terdiri dari rata-rata waktu tunggu (Dimiyati, 1992).

Menurut May (2013), dalam operasi penambangan, antrian sering terbentuk selama proses pengangkutan saat truck tiba di loader, crusher, dan lokasi dump sehingga harus menunggu giliran dalam antrian. Proses ini dapat diwakili menggunakan jaringan antrian di mana alat angkut mewakili pelanggan. Dalam sistem server adalah pemuat yang ditunggu alat angkut. Saat mewakili operasi pemuatan dengan sistem antrian, waktu yang dihabiskan alat angkut untuk memosisikan dan melihat agar dimasukkan baik sebagai bagian dari waktu siklus pemuatan atau sebagai bagian dari waktu alat angkut itu menunggu

antrian untuk dilayani. Gambar 3 dibawah ini menggambarkan sistem antrian penambangan terdiri dari alat angkut dan alat muat.



Gambar 3. Sistem Antrian Alat Muat dan Dump Truck

2.12 Penerapan Teori Antrian

Faktor-faktor yang menyebabkan antrian alat:

1. *Backhoe* pada beberapa kondisi mencari dan mengumpulkan lapisan tanah penutup yang akan dimuat terlebih dahulu, sehingga menambah waktu edar dari pemuatan.
2. Waktu manuver *dumptruck* yang cukup lama di *loading point*.
3. Geometri jalan yang belum sesuai pada segmen tertentu sehingga kecepatan *dumptruck* tidak dapat maksimal.

Menggunakan teori antrian tertutup dengan sistem putaran. Mekanisme dari pelayanan yang diterapkan merupakan sistem antrian pelayanan tunggal dengan sistem kerja terdapat 2 (dua) tahap yang berulang-ulang. Tahap pelayanan dibagi menjadi 2 :

Tahap 1 adalah tahap pelayanan yang dilakukan oleh *backhoe*.

Tahap 2 adalah tahap pelayanan sendiri dimana *dumptruck* perjalanan menuju *dumping point* sampai kembali ke *loading point*.

2.13 Penentuan Model Antrian

Menurut Herlita (2018), disiplin antrian ini terdiri menjadi empat bentuk yaitu:

- a. FCFS (*First Come First Served*)
Ini adalah aturan di mana pelanggan yang dilayani lebih dulu adalah pelanggan yang datang terlebih dulu. Misalnya, pelanggan mengantri di loket untuk mendapatkan karcis.
- b. LCFS (*Last Come, First Served*)
Ini adalah antrian yang mana pelanggan yang datang terakhir yang akan terlebih dahulu dilayani. Contohnya pada sistem antrian bongkar muat barang pada truk, yang mana barang yang masuk terakhir akan dikeluarkan terlebih dulu.
- c. SIRO (*Service in Random Number*)
Ini adalah salah satu disiplin antrian yang mana pelayanan dilakukan secara urutan acak. Contohnya seperti dalam kegiatan arisan, dimana proses undian yang menentukan pemenangnya.

d. Priority Service (Antrian Prioritas)

Ini adalah dilakukan terutama untuk pelanggan utama yang memiliki prioritas tinggi dibandingkan dengan pelanggan yang memiliki prioritas rendah.

2.14 Probabilitas Keadaan Antrian

Menurut (Elvionita. D. R, 2018) probabilitas antrian ditentukan pada jumlah *dumptruck* yang dipakai dan pada keadaan antri yang biasanya terdiri dari 4 tahap. Tahapan-tahapan tersebut sebagai berikut:

1. Tahap 1 (μ_1) merupakan tahap pelayanan alat gali muat untuk memuat material ke alat angkut hingga terisi penuh. Tahap 1 merupakan pelayanan yang terjadi pada *area loading* yang dimulai dari datangnya alat angkut ke area loading, menunggu giliran untuk dimuat, melakukan penempatan untuk memuat material dari alat gali muat ke alat angkut dan waktu pengisian material ke alat angkut dalam kurun 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 (μ_2) merupakan tahap pelayanan sendiri dimana alat angkut dalam perjalanan menuju disposal. Tahap ini dikatakan pelayanan sendiri dikarenakan pada tahap alat angkut yang telah selesai pada tahap sebelumnya berjalan dari area loading menuju tempat tujuan yang mana pada kegiatan pengupasan overburden tujuannya adalah area disposal dan tidak membutuhkan bantuan dari alat gali muat seperti pada tahap sebelumnya.

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

$$\mu_2 = \frac{1}{T_2} \times 60 \text{ Menit / Jam}$$

3. Tahap 3 (μ_3) merupakan tahap alat angkut menumpahkan material di disposal. Tahap 3 merupakan kegiatan yang terjadi pada *area disposal* yang mana area ini merupakan tempat tujuan alat angkut untuk menumpahkan material, tahap ini dimulai dari datangnya alat angkut ke masing-masing area tujuan, melakukan penempatan untuk menumpahkan material dan tahap penumpahan material.

$T_3 = \text{Waktu dumping}$

$$\mu_3 = \frac{1}{T_3} \times 60 \text{ Menit / Jam}$$

4. Tahap 4 (μ_4) merupakan tahap pelayanan sendiri, dimana alat angkut tidak bermuatan kembali menuju *area loading*. Pada tahapan ini alat

angkutan yang telah selesai menumpahkan material pada area tujuan masing-masing kembali menuju *area loading* dalam keadaan kosong dan akan mengulangi siklus yang sama dimulai dari tahap 1 sampai tahap 4.

T4 = Waktu Kembali Alat Angkut Tidak Bermuatan

$$\mu_4 = \frac{1}{T_4} \times 60 \text{ Menit / Jam}$$

Menurut Ercelebi (2009), ketentuan dari berbagai situasi yang layak untuk perluasan model antrian setiap tahap derajat dapat dianggap sama, sehingga banyaknya kemungkinan keadaan antri adalah:

$$\text{Jumlah kemungkinan antrian} = \frac{N+M-1}{(M-1)!(N)!}$$

Dimana :

N : Jumlah alat angkut

M : Tahap-tahap dalam antrian

Untuk menghitung koefisien dari tiap keadaan sistem dapat menggunakan rumus:

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

Untuk menghitung probabilitas dari tiap keadaan sistem dapat menggunakan rumus:

$$P(n_1, n_2, n_3, n_4) = \frac{1}{\sum \text{koefisien}} \times \text{koefisien } P(n_1, n_2, n_3, n_4)$$

2.14.1 Perhitungan Lq1, Lq3, Wq1 dan Wq3

1. Lq1

Ini adalah antrian pada alat angkut sedang dimuat oleh alat gali muat dengan syarat $n_1 > 1$

$$Lq_1 = (1 \times \sum \text{probabilitas } n_1 > 1) + (2 \times \sum \text{probabilitas } n_1 > 2) + (m \times \sum \text{probabilitas } n_1 > m)$$

2. Lq3

Ini adalah antrian pada alat angkut saat menumpahkan material ke *disposal* dengan syarat $n_3 > 1$

$$Lq_3 = (1 \times \sum \text{probabilitas } n_3 > 1) + (2 \times \sum \text{probabilitas } n_3 > 2) + (m \times \sum \text{probabilitas } n_3 > m)$$

3. Wq1

Ini adalah waktu tunggu bagi alat angkut saat sedang dalam pemuatan oleh alat gali muat. Dalam menentukan Wq1 terlebih dahulu harus menghitung tingkat kesibukan (η_1) *excavator* dengan syarat $n_1 = 0$

$$\eta_1 = 1 - \Sigma \text{probabilitas keadaan } n_1=0$$

Karena pemuatan ada pada tahap 1, maka jumlah truk yang bisa dilayani adalah:

$$\Theta = \eta_1 \times \mu_1$$

$$Wq_1 = \frac{Lq_1}{\theta}$$

4. Wq_3

Ini adalah Waktu tunggu bagi alat angkut pada saat menumpahkan material ke *disposal*

$$Wq_3 = \frac{Lq_3}{\theta}$$

2.14.2 Jumlah Dump Truck Berdasarkan Metode Antrian

Berdasarkan penerapan dari metode antrian maka untuk mendapatkan total waktu edar bagi alat angkut yaitu:

$$CT \text{ total} = \left(\frac{1}{\mu_1} + \frac{1}{\mu_2} + \frac{1}{\mu_3} + Wq_1 + Wq_3 \right)$$

Sehingga tingkat kedatangan dari *dumpruk* di *frontloading* maupun di *disposal area* yaitu :

$$\lambda = \lambda_1 = \lambda_2$$

Jadi, untuk menentukan jumlah dari dump truck yang dibutuhkan berdasarkan dari metode antrian adalah:

$$N = \frac{\mu_1}{\lambda}$$

III METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Lokasi Penelitian dan Kesampaian Daerah

PT. Berkas Bara Persada, Kec. Batin XXIV, Kabupaten Batanghari, Jambi.

3.2 Peralatan

Peralatan yang digunakan pada saat melakukan penelitian ini adalah yaitu :

1. Alat tulis yang berfungsi untuk mencatat semua data yang didapatkan.
2. Kamera yang berfungsi untuk mengambil gambar dokumentasi sebagai data pendukung.
3. *Stopwatch* yang berfungsi untuk menghitung waktu *cycle time* dari alat muat dan alat angkut.
4. Laptop yang berfungsi untuk pembuatan laporan, dan melakukan pengolahan data.
5. Alat Pelindung Diri yang berfungsi untuk melindungi diri selama pengambilan data di lapangan.

3.3 Metode Penelitian

Jenis penelitian yang digunakan adalah gabungan dari metode kualitatif dan kuantitatif. Metode kualitatif digunakan supaya penelitian memberikan pemahaman menyeluruh mengenai tercapainya target produktivitas menggunakan metode antrian, dan metode kuantitatif digunakan dalam penelitian ini nanti akan menggunakan data berupa angka.

3.4 Persiapan Penelitian

Dalam penelitian ini penulis melaksanakan penyusunan usulan tugas akhir, mempelajari buku literatur serta referensi berupa teori-teori dan rumusan yang berkaitan dengan kajian produktivitas pengupasan tanah penutup (*Overburden*) menggunakan metode antrian pada alat muat dan alat angkut. Serta bahan yang berhubungan pada penelitian penulis yang bisa proses mendukung kegiatan pada penelitian.

3.5 Pengumpulan Data

Pada tahap ini pengumpulan data bertujuan untuk mendapatkan data-data yang diperlukan pada tahap pengolahan data. Terdapat dua jenis data yang diperlukan oleh penulis dalam penelitian ini, sebagai berikut:

Data primer merupakan data yang diperoleh langsung dari pengamatan dan perhitungan dilapangan. Adapun data primer yang kan diambil langsung, yaitu:

1. Waktu Edar (*cycle time*)
Waktu edar didapatkan dengan cara menghitung waktu edar setiap alat mekanis dalam satu siklus.
2. Waktu Kerja Efektif
Waktu kerja efektif didapatkan dengan pengamatan langsung dengan menghitung waktu standby, waktu repair dari alat mekanis.
3. Effisiensi Kerja Alat
Effisiensi kerja alat ini didapatkan dari data cycle time dari masing-masing alat mekanis
4. Perhitungan Kemampuan Produksi
Kemampuan produksi ini didapatkan dengan data waktu edar, effisiensi kerja alat.
5. Perhitungan Match Factor
Faktor keserasian alat tersebut didapatkan dari data waktu edar dari alat mekanis dan jumlah alat
6. Metode Antrian
Metode antrian ini didapatkan dengan mencari penentuan model antrian.

Sedangkan data sekunder berupa peta izin usaha pertambangan, data target produksi perusahaan, spesifikasi alat mekanis.

3.6 Pengolahan Data

Pengolahan data tersebut diolah dari data primer yang diperoleh dari aktivitas studi yang berikutnya dicoba pengolahan dengan menggunakan perhitungan rumus yang berikutnya disajikan dalam wujud serta rangkaian buat penyelesaian permasalahan yang terdapat

1. Waktu edar ditampilkan dalam bentuk tabel dari masing-masing alat mekanis.
2. Menghitung effisiensi kerja alat menggunakan rumus $E_k = \frac{W_e}{W_{tp}} \times 100\%$
3. Menghitung produktivitas dari setiap alat mekanis dengan menggunakan rumus.
4. Menghitung match factor menggunakan rumus MF
5. Membuat grafik keadaan sistem terhadap probabilitas.

6. Menghitung probabilitas keadaan antrian dengan menggunakan empattahap, serta menghitung $Lq1$, $Lq3$, $Wq1$ dan $Wq3$.

7. Menghitung jumlah *dumptruck* berdasarkan metode antrian.

Sehingga penulis bisa mendapatkan pemahaman lebih banyak mengenai data yang sudah diambil dan menentukan alat angkut yang optimal untuk produksi.

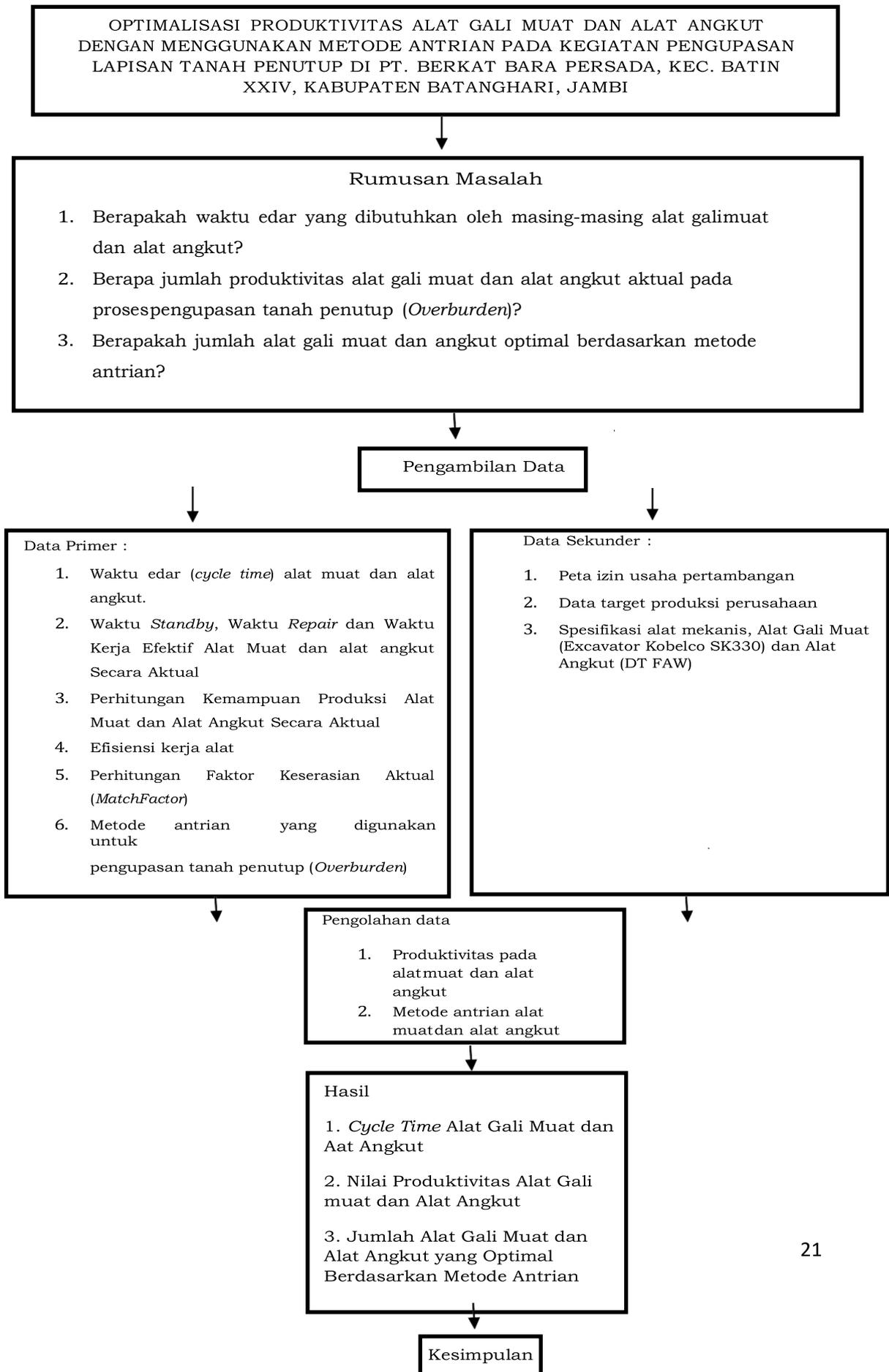
3.7 Analisis Data

Adapun data-data yang dianalisis pada penelitian ini yaitu data jumlah alat angkut dan alat muat yang digunakan pada proses pengupasan *overburden*, data produktivitas alat gali muat dan alat angkut, data *cycle time* dari alat gali muat dan angkut. Data – data tersebut diambil dari hasil pengamatan langsung di lapangan sehingga nantinya dapat digunakan sebagai variabel dalam perhitungan untuk mencari jumlah alat angkut optimal.

Data yang telah diukur dan diolah dalam bentuk tabel, sehingga analisis data lebih mudah untuk dilakukan. Nilai aktual yang telah dihitung akan dibandingkan dengan nilai ideal yang telah dihitung sesuai dengan persamaan terkait.

Pada hasil penghitungan untuk jumlah alat *dump truck* yang digunakan, jika aktualnya tidak sesuai dengan jumlah ideal dari hasil analisis yang dilakukan. Maka dapat dilakukan perbaikan jumlah alat yang digunakan. Sehingga dapat mencapai jumlah optimal demi mencapai produktivitas yang lebih optimal sehingga mencapai target produksi yang telah direncanakan.

3.8 Gambar Bagan Alir Penelitian



IV HASIL DAN PEMBAHASAN

IV.1 Kondisi Daerah Penelitian

Saat ini terdapat satu pit aktif dalam kegiatan *coal getting* (Blok 3) dan pada kegiatan pengupasan *overburden* (Blok 3 Utara), dua *disposal area*, satu *stockpile* dan dua *settling pond*. Penelitian dilakukan pada kegiatan pengupasan *overburden* yang mana jarak dari Blok 3 (pengupasan *overburden*) menuju ke *disposal* ± 900 m. Jalan angkut dari *front* menuju ke *disposal* secara umum termasuk kedalam jalan dengan dua lajur, namun pada beberapa segmen jalan angkut seperti jalan yang berada di dekat *front* (jalan masuk dan keluar dari *front loading overburden*) dan ada jembatan termasuk kedalam jalan dengan satu lajur.

Umumnya jenis material yang terdapat pada block 3 pada saat dilakukannya pengupasan *overburden* merupakan material lempung (*Clay*) yang merupakan material dengan skala *medium hard digging* atau material yang agak sukar untuk digali terutama pada saat material dalam keadaan basah dapat mengakibatkan material menjadi lengket.

Dari hasil pengamatan yang dilakukan banyak terjadi penumpukan atau antrian alat angkut yang terjadi di *front loading* baik untuk batubara maupun *overburden* sehingga perlu dilakukan analisis untuk memperbaiki keadaan tersebut dan mendapatkan kondisi ideal dengan menggunakan metode kapasitas produksi dan teori antrian. Untuk itu diperlukan data seperti komposisi alat yang tersedia, waktu edar alat gali muat dan alat angkut.

IV. 2 Komposisi Alat Yang Tersedia

Komposisi alat yang tersedia adalah suatu rangkaian tiap-tiap peralatan mekanis yang digunakan pada kegiatan pengupasan *overburden*. Pada kegiatan pengupasan tersebut diperlukan 2 jenis alat utama dalam prosesnya yaitu alat gali dan alat angkut. Alat gali muat digunakan untuk menggali material *overburden* menuju ke *disposal* dengan menggunakan alat angkutnya. Menurut penelitian terdahulu, alat gali berupa excavator tidak memerlukan mobilitas yang tinggi dikarenakan excavator merupakan alat mekanis stasioner. Namun sebaliknya, alat angkut merupakan alat yang memiliki mobilitas yang tinggi dikarenakan kegiatan pengangkutan menempuh jarak yang cukup jauh dari lokasi penggalian ke *disposal area*. Oleh sebab itu diperlukan mobilitas yang tinggi pada alat angkut.

Adapun jenis alat gali muat yang digunakan pada pengupasan *overburden* pada penelitian ini yaitu excavator Kobelco SK330 dan alat angkutnya yaitu *Dump Truck* Faw.

Tabel 4. Kapasitas Alat pada Pengupasan Overburden

No	Unit	Kapasitas Bucket	Jumlah
1	Excavator Kobelco SK330LC-10	1.6 m ³	1
2	DT Faw	41 ton	4

Berdasarkan tabel 4, dapat dilihat bahwa kapasitas *bucket* dari excavator Kobelco SK330LC-10 adalah 1.6 m³. Dimana artinya dalam satu kali penggalian, excavator akan mampu menampung material sampai kapasitas tersebut. Dalam satu *fleet* penggalian *overburden* terdapat satu unit excavator sebagai alat gali muatnya.

Untuk alat angkut, dengan tipe *Dump Truck Faw* memiliki kapasitas bak sebanyak 41 ton. Dimana artinya daya tampung bak dari *Dump Truck* yaitu 41 ton. Pada penelitian ini terdapat 4 unit alat *Dump Truck* yang digunakan untuk pengangkutan material *Overburden* ke area *disposal* seperti yang terlihat pada tabel 4. Akan tetapi kenyatannya dilapangan, untuk pengisian dari kapasitas bak dari alat angkut yang tidak maksimal dikarenakan pada saat jalan masih ada material yang jatuh karena alat tersebut tidak memiliki penutup dibagian bak belakang.

Pada kegiatan dilapangan, kapasitas bucket dari excavator maupun *Dump Truck* tidak sepenuhnya optimal. Terdapat beberapa faktor lain yang menyebabkan kapasitas *bucket* tidak tercapai oleh operator masing-masing alat. Pada alat gali muat, pada saat melakukan *swing*, biasanya material akan ada yang jatuh sehingga kapasitas *bucket* excavator tidak optimum. Selanjutnya, pada kegiatan pengangkutan material, pada perjalanan dengan jarak tempuh yang cukup jauh. Gangguan pada saat perjalanan tersebutlah yang menyebabkan terjadinya pengurangan pada bak *Dump truck* tersebut dan isinya menjadi tidak maksimal.

IV.3 Efisiensi Kerja Alat Gali Muat dan Alat Angkut

Jam kerja efektif merupakan jumlah jam kerja alat pada saat alat tersebut bekerja. Jam kerja adalah jumlah jam pada saat mulai bekerja hingga pulang. Jumlah jam kerja pada PT. Berkat Bara Persada adalah 24 jam/hari. Kegiatan penggalian *overburden* pada saat penelitian ini dilangsungkan yaitu pada bulan Juli, tidak sesuai dengan harapan. Dimana kegiatan penggalian *overburden* hanya dilakukan selama dua puluh lima hari. Pada saat melakukan penelitian

curah hujan pada bulan tersebut tidak terlalu tinggi. Distribusi jam kerja harian dapat dilihat pada tabel 5.

Tabel 5. Waktu Jam Kerja

Hari	Waktu kerja (1 shift)	JamKerja	Keterangan
Senin	07.00-12.00 & 13.00-18.00	10	Waktu normal
Selasa	07.00-12.00 & 13.00-18.00	10	Waktu normal
Rabu	07.00-12.00 & 13.00-18.00	10	Waktu normal
Kamis	07.00-12.00 & 13.00-18.00	10	Waktu normal
Jumat	07.00-11.00 & 13.00-18.00	9	Waktu normal
Sabtu	07.00-12.00 & 13.00-18.00	10	Waktu normal
Minggu	07.00-12.00 & 13.00-18.00	10	Waktu normal
		69	

Dilihat dari tabel 5 waktu tersedia merupakan total waktu yang dipakai pada kegiatan penambangan dimulai pada pagi hari pukul 07.00 sampai pukul 18.00 WIB dan pada shift malam dimulai pada pukul 19.00-06.00 WIB. Waktu kerja merupakan jumlah waktu yang dapat digunakan alat untuk bekerja dalam satu hari (W). Dan waktu *standby* (S) merupakan waktu kerja yang terpakai dikarenakan alat harus menunggu dikarenakan adanya suatu hambatan. Sementara itu, waktu *Repair* (R) adalah waktu kerja yang dipergunakan alat ketika sedang menunggu perbaikan.

Efisiensi kerja merupakan perbandingan antara waktu kerja efektif dengan waktu kerja yang tersedia yang dinyatakan dengan persentase (%). Nilai

efisiensi kerja sangat mempengaruhi kemampuan produksi dari suatu alat. Faktor-faktor lain yang juga mempengaruhi efisiensi kerja yaitu faktor manusia, faktor alat, faktor cuaca serta kondisi lapangan.

Perhitungan efisiensi kerja, penulis menggunakan data hasil pengamatan di lapangan dihitung dari waktu mulai bekerja hingga waktu berhenti bekerja. Hal itu digunakan karena apabila penulis menggunakan data bulanan nantinya akan terdapat perbedaan waktu yang sangat signifikan karena pada data bulanan tersebut banyak waktu yang terbuang dengan beberapa faktor lainnya dapat dilihat pada tabel 6.

Tabel 6. Distribusi Waktu Hambatan Alat Gali Muat dan Alat Angkut

Jenis Alat	Excavator	DT
Waktu yang tersedia dalam 1 shift (menit)(07.00-18.00)	600	600
Hambatan yang tidak dapat dihindari		
Persiapan dan berangkat kepermukaan kerja	10	5
Pengaturan posisi dan penempatan alat	10	5
Pengisian BBM		5
Pemeriksaan dan pemanasan alat	10	10
Jumlah (menit)	30	25
Hambatan yang dapat dihindari (menit)		
Terlambat datangnya karyawan	15	15
Istirahat terlalu awal	10	10
Terlambat kerja setelah istirahat	15	15
Berhenti sebelum akhir kerja	15	15
Jumlah (menit)	55	55
Waktu Lost time (menit)	85	75

Perhitungan efisiensi kerja masing-masing alat yang digunakan haruslah dilakukan. Hal itu dikarenakan nilai dari efisiensi kerja bisa mempengaruhi nilai dari masing-masing produksi dari alat mekanis. Adapun pada pengupasan *Overburden*, alat mekanis yang digunakan adalah Excavator jenis Kobelco SK330LC-10.

Tabel 7. Rekapitulasi Hasil Perhitungan Efisiensi Kerja Aktual

No	Unit	MA (%)	PA (%)	UA (%)	EU (%)
1	Excavator Kobelco SK330	85	87.2	86.3	81
2	FAW	100	100	81	81

Dari tabel 7 didapatkan hasil dari perhitungan efisiensi kerja dari perusahaan masing-masing alat mekanis pada pengupasan *overburden* didapatkan nilai dari masing-masing nilai *Mechanical Availability* (MA) yang merupakan nilai dari kesiapan alat mekanis yang secara langsung berhubungan dengan performa alat itu sendiri sebesar 85% untuk alat gali muat jenis excavator Kobelco SK330LC-10 dan 100% untuk jenis alat angkut Jenis Faw. *Mechanical Availability* bisa dipengaruhi oleh beberapa faktor salah satunya yaitu kerusakan pada alat. Disamping itu, *Physical Availability* (PA) merupakan nilai untuk mengetahui berapa lama waktu suatu alat dipakai dalam satu kegiatan pada total jam kerja yang tersedia yang dapat dipengaruhi oleh beberapa faktor kecuali faktor alam seperti pengaruh cuaca. Dari data perusahaan diperoleh nilai PA sebesar 87.2% untuk alat gali muat Excavator Kobelco SK330LC-10 dan 100% untuk alat angkut Faw. *Use of Availability* (UA) merupakan nilai yang menunjukkan persentase waktu yang digunakan oleh alat untuk melakukan operasi pada saat alat tersebut digunakan. Dari data perusahaan didapatkan nilai 86.3% untuk alat gali muat Excavator Kobelco SK330LC-10 dan 81% untuk alat angkut jenis Faw. *Effective Utilization* (EU) menunjukkan lama waktu yang dapat dipergunakan oleh alat mekanis dalam kegiatan operasional berdasarkan waktu kerja yang tersedia atau bisa juga disebut sebagai efisiensi kerja alat mekanis, yang mana pada kegiatan pengupasan *overburden* ini diperoleh nilai EU sebesar 81% untuk alat gali muat Excavator Kobelco SK330LC-10 dan 81% untuk alat angkut Faw.

Dapat dilihat bahwa hasil data perusahaan efisiensi kerja (EU) aktual alat mekanis yang digunakan dalam kegiatan operasional penambangan baik itu pada proses pengupasan *overburden* berada di angka 81% - 84% yang berarti semua alat berada dalam keadaan sedang-baik, hal ini berdasarkan pada Permen PU No.11/PRT/M/2013 yang menyatakan bahwa faktor efisiensi kerja alat mekanis dibagi menjadi 4 faktor yang mana faktor efisiensi 0,58 dikatakan dalam kondisi operasi yang kurang, 0,67 pada keadaan agak kurang, 0,75 pada keadaan sedang dan 0,83 berarti kondisi operasi dalam keadaan baik.

IV.4 Cycle Time dan Match Factor Alat Gali Muat dan Alat Angkut

Cycle time atau waktu edar adalah waktu yang diperlukan oleh masing-masing alat mekanis untuk melakukan kegiatan penambangan mulai dari penggalian hingga kembali pada posisi awal kembali.

Penulis melakukan pengamatan dan pengambilan data *cycle time* pada masing-masing alat mekanis yang digunakan dimulai pada penggalian material, *swing* isi, penumpahan material ke dalam *Dumpt truck* dan terakhir *swing*

kosong untuk melakukan penempatan *bucket* pada posisi semula untuk melakukan kegiatan berulang. Pengamatan *cycle time* dimulai pada kegiatan pengangkutan material dari lokasi penggalian menuju ke *disposal* atau biasa disebut dengan *hauling loading time* (HLT). Setelah di *disposal*, dilakukan pengukuran waktu penempatan alat ketika hendak melakukan *dumping* material *overburden* yang biasa disebut dengan *spotting dump time* (SDT). Kemudian penulis melakukan pengukuran waktu yang dibutuhkan oleh *Dump Truck* untuk menumpahkan material atau biasa disebut dengan *dumping time*. Setelah itu, waktu yang dihitung selanjutnya adalah waktu yang diperlukan oleh *Dump Truck* untuk kembali ke area penggalian. Ketika *Dump Truck* kembali ke area penggalian material, sering terjadi beberapa kendala berupa waktu yang terbuang diakibatkan adanya antrian. Antrian tersebut menyebabkan pengaruh waktu edar dari alat angkut tersebut. Waktu lainnya yang dilakukan perhitungan yaitu penempatan *Dump Truck* didepan *front loading*.

Pengukuran waktu edar secara langsung ini diperkirakan akan lebih akurat dibandingkan dengan data bulanan perusahaan. Dengan adanya perhitungan secara langsung akan meminimalisir waktu yang terbuang dan menjadikan data menjadi lebih akurat. Pengukuran ini dilakukan sebanyak 100 kali pada masing-masing alat gali dan juga alat angkut.

Nilai dari *Match Factor* pada alat gali dan alat angkut dapat diketahui dari perbandingan total unit dipakai dan juga waktu edar dari masing-masing alat.

Match Factor merupakan faktor keserasian antara alat mekanis yang digunakan pada kegiatan operasional penambangan. Untuk mendapatkan nilai dari *match factor* diperlukan nilai dari waktu edar masing-masing alat yang digunakan pada kegiatan penambangan. Berdasarkan perhitungan waktu edar alat gali muat excavator Kobelco SK330LC-10 didapatkan nilai rata-rata waktu edarnya sebesar 22.07 detik. Untuk rata-rata waktu edar alat angkut *Dump Truck* Faw sebesar 13.28 menit. Tabel waktu edar alat gali-muat dan alat angkut dapat dilihat lebih lengkap pada lampiran 3 dan lampiran 4.

Berdasarkan hasil perhitungan, didapatkan nilai dari *Match Factor* sebesar 0.66, dimana nilai tersebut <1 dan artinya alat gali muat bekerja 100% dan alat angkut bekerja kurang dari 100% . Hal ini dapat disebabkan karena pada saat pengangkutan material mengalami kendala dijalan berupa jalan yang terlalu curam, licin dan juga pada saat *Dump Truck* melakukan pengisian bahan bakar. Apabila lokasi penambangan terkena air atau dalam artian becek, maka operator *Dump Truck* akan mengalami kesulitan pengangkutan material dikarenakan jalanan akan menjadi licin. Hal tersebut karena pada saat selesai hujan, area penambangan akan tergenang oleh air dan juga kadar air tanah

akan meningkat sehingga diperlukan pengurangan kadar air yang terkandung didalamnya. Dengan begitu otomatis tanah dan material yang dipadatkan akan menjadi licin.

Nilai dari *Match Factor* tersebut juga menandakan bahwa produksi alat angkut lebih besar dibandingkan dengan produksi alat gali muat. Sehingga menyebabkan alat gali muat harus menunggu alat angkut datang untuk melanjutkan pekerjaannya. Adapun faktor-faktor penyebab terjadinya antrian pada alat gali muat yang menunggu alat angkut yaitu faktor manusia, faktor mesin yang kurang baik pada alat gali muat, faktor iklim dan cuaca yang menyebabkan jalan tambang menjadi licin serta jalan tambang yang curam. Hal itu tentu akan menyebabkan waktu siklus dari alat angkut akan menjadi lebih lama dibandingkan dengan keadaan jalanan yang baik, mesin alat angkut yang baik. Untuk mengatasi faktor-faktor penghambat waktu edar alat angkut perlu dilakukan pengawasan yang optimal terhadap para operator excavatornya dan juga keadaan jalan harus lebih diperhatikan agar target produksi bisa tercapai optimal.

IV.5 Perhitungan Jumlah Alat Angkut Optimum Berdasarkan Metode Kapasitas Produksi

Metode kapasitas produksi merupakan metode yang digunakan untuk menghitung jumlah kebutuhan *dump truck* dalam satu *fleet* pada kegiatan operasional penambangan yang dalam penelitian ini yaitu pengupasan *overburden*. Oleh sebab itu sebelum dilakukan perhitungan terhadap kebutuhan *Dump Truck* sebaiknya terlebih dahulu dilakukan perhitungan produksi dari masing-masing alat yakni alat gali muat dan juga alat angkut. Perhitungan nilai produksi ini menggunakan data-data primer yang didapatkan penulis di lapangan yang sebelumnya telah diolah berupa data *cycle time*, efisiensi kerja, kapasitas *bucket* dari alat gali muat, *bucket fill factor* dan *swell factor* dari material galian itu sendiri.

Adapun data yang digunakan untuk menghitung kemampuan produksi alat dapat dilihat pada Tabel 8 sebagai berikut:

Tabel 8. Kemampuan Produksi Alat

No	Unit	Cycle Time (menit)	Produktivitas (BCM/Jam)
1	Excavator Kobelco SK330LC-10	0,367	173,4 BCM/Jam
2	DT Faw	13,28	28,82 BCM/jam

Pada Tabel 8 dapat dilihat hasil perhitungan kemampuan produksi alat gali muat dan alat angkut berdasarkan perhitungan data pengamatan yang dilakukan. Data kemampuan produksi ini adalah data yang dipakai dalam perhitungan kebutuhan alat angkut yang didasarkan oleh kapasitas produksi suatu alat. Metode ini hanya berfokus pada kapasitas produksi dari masing-masing alat mekanis tanpa memperhitungkan kemungkinan terjadinya hambatan seperti keadaan antri apabila terjadi kelebihan alat angkut yang digunakan ataupun keadaan excavator menunggu karena kekurangan jumlah alat angkut yang beroperasi.

Perhitungan kebutuhan alat berdasarkan kapasitas produksi adalah sebagai berikut:

- a. Perhitungan kebutuhan alat gali muat pada kegiatan pengupasan overburden (*Fleet 1*)

$$\begin{aligned} N \text{ alat angkut} &= \frac{P \text{ Excavator Kobelco SK330}}{PDT \text{ Faw}} \\ &= \frac{173.4 \text{ BCM/Jam}}{28.82 \text{ BCM/Jam}} \\ &= 6,01 = 6 \text{ unit} \end{aligned}$$

Dari hasil perhitungan diatas, maka jumlah alat angkut yang dibutuhkan 6 unit pada kegiatan pengupasan *overburden*. Perhitungan dengan metode kapasitas produksi ini sesuai dengan pendapat (Diah Lydianingtias dan Suhariyanto, 2018) yang menyatakan bahwa pada umumnya dalam satu pekerjaan terdapat lebih dari satu jenis alat yang dipakai dan memiliki produktivitas yang berbeda-beda, maka untuk menentukan jumlah kebutuhan alat perlu dilakukan perhitungan untuk menentukan alat dengan produktivitas terbesar. Sehingga untuk menentukan jumlah alat-alat lainnya maka digunakan rumus (Jumlah alat = produksi terbesar/produksi alat). Dimana pada perhitungan dengan kapasitas produksi ini alat yang memiliki produktivitas terbesar adalah alat gali muat sehingga selanjutnya dapat dicari kebutuhan alat angkut berdasarkan nilai produktivitas alat gali muat dibagi produktivitas alat angkut.

IV.6 Perhitungan Kebutuhan Alat Angkut Optimum dengan Menggunakan Teori Antrian

1. Penentuan Tingkat Pelayanan

Berdasarkan pengamatan di lapangan disiplin pelayanan yang digunakan adalah FCFS (*first come, first served*) yang mana model ini adalah model umum digunakan pada kegiatan operasional penambangan baik itu pada kegiatan *coal getting* maupun kegiatan pengupasan *overburden*. Barisan antrian termasuk

ukuran kedatangan secara terbatas dan hanya dilayani oleh satu unit excavator maka pelayanannya adalah pelayanan tunggal (*single serve*). Jenis pelayanan ini memungkinkan terjadinya keadaan antri dikarenakan satu alat gali muat harus melayani beberapa alat angkut, selain itu juga dapat terjadi karena tidak terjadwalnya waktu keberangkatan dan waktu kedatangan dari front loading sehingga berkemungkinan menyebabkan antrian alat angkut. Terjadinya antrian alat angkut pada kegiatan pengupasan *overburden* dapat menyebabkan kerja alat angkut tidak optimal atau tidak mencapai keadaan 100% alat bekerja tanpa hambatan. Dapat dilihat pada gambar 4.



Gambar 4. Antrian Alat Angkut pada kegiatan pengupasan overburden

Dalam penentuan hambatan secara optimal, penulis menggunakan metode antrian sebagai teori pendukungnya. Hal ini karena metode antrian menggunakan data waktu edar dari masing-masing alat mekanis yang digunakan pada kegiatan operasional tambang. Adapun waktu edar kegiatan pengupasan Overburden dapat dilihat pada lampiran 3 dan 4.

Tahapan-tahapan yang digunakan dalam metode antrian ini terbagi menjadi 4 yaitu :

- a. Tahap 1 (μ_1) merupakan tahap pelayanan alat gali muat untuk memuat material ke alat angkut hingga terisi penuh. Tahap 1 merupakan pelayanan yang terjadi pada *area loading* yang dimulai dari datangnya alat angkut ke *area loading*, menunggu giliran untuk dimuat, melakukan penempatan untuk memuat material dari alat gali muat ke alat angkut dan waktu pengisian material ke alat angkut dalam kurun waktu satu jam.

Tahap pelayanan ini merupakan perhitungan untuk mendapatkan nilai *dump truck* yang dapat dilayani oleh excavator pada *area loading* dalam 1 jam. Dalam perhitungannya didapatkan nilai T1 yaitu 4.4 menit, yang artinya 1 *dump truck* memerlukan waktu 4.4 menit pada tahap ini dan selanjutnya dilakukan perhitungan μ_1 untuk mengetahui jumlah *dump truck* yang dapat dilayani oleh alat gali muat pada tahap 1 dalam kurun waktu 1 jam yang mana hasilnya adalah 14 *dump truck* per jam.

- b. Tahap 2 (μ_2) merupakan tahap pelayanan sendiri dimana alat angkut dalam perjalanan menuju *disposal*. Tahap ini dikatakan pelayanan sendiri dikarenakan pada tahap alat angkut yang telah selesai pada tahap sebelumnya berjalan dari *area loading* menuju tempat tujuan yang mana pada kegiatan pengupasan *overburden* tujuannya adalah area *disposal* dan pada kegiatan *coal getting* tujuannya adalah *stockpile* dan tidak membutuhkan bantuan dari alat gali muat seperti pada tahap sebelumnya.

Pada tahap ini, alat angkut melakukan pengangkutan material dari *front* penambangan ke lokasi *disposal*. Kegiatan ini dinamakan dengan T2. Waktu yang dibutuhkan dalam kegiatan ini yaitu 3.97 menit. Dan μ_2 nya yaitu 15 unit *dump truck* per jam.

- c. Tahap 3 (μ_3) merupakan tahap alat angkut menumpahkan material di *disposal*. Tahap 3 merupakan kegiatan yang terjadi pada area *disposal* dan *stockpile* yang mana area ini merupakan tempat tujuan alat angkut untuk menumpahkan material, tahap ini dimulai dari datangnya alat angkut ke masing-masing area tujuan, melakukan penempatan untuk menumpahkan material dan tahap penumpahan material.

Pada tahap 3 ini, didapatkan nilai T3 adalah sebesar 0.68 menit dan μ_3 nya sebanyak 88 unit. Artinya, dalam 1 jam excavator mampu bekerja untuk memenuhi 88 unit *dump truck*.

- d. Tahap 4 (μ_4) merupakan tahap pelayanan sendiri, dimana alat angkut tidak bermuatan kembali menuju area *loading*. Pada tahapan ini alat angkut yang telah selesai menumpahkan material pada area tujuan masing-masing kembali menuju area *loading* dalam keadaan kosong dan akan mengulangi siklus yang sama dimulai dari tahap 1 sampai tahap 4.

Tahap 4 merupakan tahap dimana pada saat penumpahan material telah selesai, maka dibutuhkan waktu untuk kembali ke area *loading* material. Adapun waktu yang diperlukan alat angkut pada tahap ini (T4) yaitu 3.74 menit dan nilai μ_4 nya adalah 16 *truck*/jam. Dalam keadaan kosong, *truck* akan memiliki waktu siklus yang lebih cepat bila dibandingkan dengan *truck* yang bermuatan. Hal itu dikarenakan berat muatan mempengaruhi kecepatan dari *truck* itu sendiri. Dapat dilihat hasilnya pada tabel 9

Tabel 9. Hasil Perhitungan Tingkat Pelayanan

No	Tingkat Pelayanan	Jumlah Truck (unit/jam)
1	Tahap 1 (μ_1)	14
2	Tahap 2 (μ_2)	15
3	Tahap 3 (μ_3)	88
4	Tahap 4 (μ_4)	16

2. Probabilitas Keadaan Antrian

Pada hasil dari *match factor* kegiatan pengupasan *Overburden* alat yang digunakan yaitu Excavator jenis Kobelco SK330LC-10 sebanyak 1 unit dan juga alat angkut nya berupa *Dump truck* jenis Faw sebanyak 4 unit yang dilayani oleh alat gali muat. Digunakan 4 tahap antrian (M) pada metode ini, sehingga banyaknya kemungkinan kejadian antrian dengan metode ini adalah sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 \frac{(N+M-1)!}{(M-1)!(N)!} &= \frac{(4+4-1)!}{(4-1)!(4)!} \\
 &= \frac{(7)!}{(3)!(4)!} \\
 &= \frac{5044}{144} = 35 \text{ keadaan}
 \end{aligned}$$

Jumlah keadaan antrian yang didapatkan dari perhitungan menggunakan rumus tersebut dengan 4 unit alat angkut nya adalah 35 keadaan. Selanjutnya dilakukan perhitungan untuk mendapatkan koefisien dan probabilitas dari masing-masing keadaan antrian.

3. Perhitungan Koefisien dan Probabilitas Keadaan Sistem

Perhitungan koefisien ini dilakukan hingga 35 keadaan yang dimulai pada $P(0,0,0,4)$ hingga pada $P(1,1,1,1)$. Hasil dari perhitungan ini dapat dilihat pada lampiran. Berdasarkan perhitungan yang telah dilakukan, didapatkan nilai koefisien 1 yaitu pada $P(4,0,0,0)$ dan juga $P(3,1,0,0)$. Dikarenakan pada saat probabilitas tersebut didapatkan nilai 1, maka itulah yang nantinya akan menjadi acuan dalam perhitungan probabilitas masing-masing keadaan sistem. Dari lampiran 1, didapatkan nilai jumlah keseluruhan keadaan sistem adalah 6.86259. Dengan didaptkannya nilai koefisien tersebut, maka selanjutnya adalah perhitungan probabilitas masing-masing keadaan dengan menggunakan rumus seperti pada persamaan, dan hasilnya dapat dilihat pada Lampiran.

4. Perhitungan Lq_1 , Lq_3 , Wq_1 , dan Wq_3

Dari perhitungan seperti yang terlihat pada tabel didapatkan jumlah *dump truck* yang mengantri pada tahap 1 yaitu pada area *loading* sebanyak 2 *dump*

truck. Selanjutnya, dilakukan perhitungan terhadap Lq_3 didapatkan hasil bahwa jumlah *dump truck* yang mengantri pada area disposal tidak ada.

Untuk perhitungan Wq_1 , terlebih dahulu harus memahami bahwa syarat perhitungan Wq_1 adalah apabila $n_1=0$, yang artinya waktu tunggu alat angkut saat akan dimuat oleh alat gali muat. Nilai dari Wq_1 didapatkan adalah 0.087013 menit. Untuk perhitungan Wq_3 dari perhitungan yang telah dilakukan oleh penulis didapatkan hasilnya yaitu 0.000652 menit. Wq_3 merupakan perhitungan waktu tunggu penumpahan material pada area disposal. Waktu tunggu dari Wq_1 dan Wq_3 ini lah yang menyebabkan terjadinya antrian pada alat angkut material.

5. Jumlah *Dump Truck* Yang Dibutuhkan Berdasarkan Metode Antrian

Berdasarkan perhitungan yang telah dilakukan, didapatkan bahwa kebutuhan truck agar tidak terjadi antrian adalah 4 unit. Hal ini sudah sesuai dengan keadaan asli dilapangan, yang mana jumlah *truck* pada alat gali muat adalah 4 juga. Hal ini dapat terjadi karena alat dipengaruhi oleh keadaan lapangan yang mana keadaan antrian bukan terjadi akibat alat angkut menunggu untuk dimuat tetapi karena alat gali muat membutuhkan waktu untuk persiapan pemuatan dan keadaan struktur tanah yang tidak stabil sehingga setelah proses pemuatan sering terjadi ambles akibat ketidakmampuan struktur tanah menahan beban dari alat angkut yang telah bermuatan sehingga menyebabkan beban kerja alat gali muat bertambah untuk merapikan *area loading*.

Hasil dari penerapan metode antrian ini nantinya dapat menjadi bahan pertimbangan oleh perusahaan tempat penelitian dilaksanakan dalam upaya penerapan jumlah alat angkut yang optimum dalam satu fleet pada kegiatan pengupasan Overburden. Sehingga nantinya tidak ada lagi waktu yang terbuang percuma karena alat angkut harus mengantri. Selain dari hasil perhitungan dengan menggunakan teori antrian dapat juga dilakukan penjadwalan keberangkatan yang bertujuan untuk mengatur waktu kedatangan dan keberangkatan *dump truck* dari suatu titik ke titik selanjutnya sehingga tidak terdapat waktu yang terbuang percuma uang nantinya akan berpengaruh terhadap produksi yang dihasilkan.

6. Penjadwalan Keberangkatan Kegiatan Pengupasan Overburden Jadwal

Merupakan salah satu teks fungsional yang berisi daftar kegiatan, program dan waktu pelaksanaan. Ini bertujuan agar kegiatan yang telah direncanakan dapat terlaksana dengan baik dan sesuai rencana. Penjadwalan merupakan salah satu kegiatan yang penting dalam proses produksi ataupun pekerjaan suatu proyek. Penjadwalan digunakan sebagai dasar untuk mengalokasikan

sumberdaya seperti mesin dan peralatan produksi, sumberdaya manusia yang digunakan dan merencanakan proses produksi. Penjadwalan yang baik akan berdampak positif terhadap kelancaran produksi serta meminimalisir waktu dan biaya produksi (Panduri, 2020).

Tabel 10. Jumlah Unit Alat angkut dan Waktu Edar Aktual

No	Jenis Kegiatan	Jumlah Alat Angkut	Jenis Waktu Edar	Hasil Pengukuran	Total (Menit)
1	<i>Overburden</i>	4	Waktu Tunggu Sebelum Pemuatan	145 Detik (2.42 Menit)	13.28
			Waktu Penempatan dan Pengisian Material	118 Detik (1.97 Menit)	
			Waktu Menuju <i>Disposal Area</i>	238 Detik (3.97 Menit)	
			Waktu Penempatan dan Penumpahan Material	69 Detik (1.15 Menit)	
			Waktu Menuju <i>Front Loading</i>	224 Detik (3.73 Menit)	

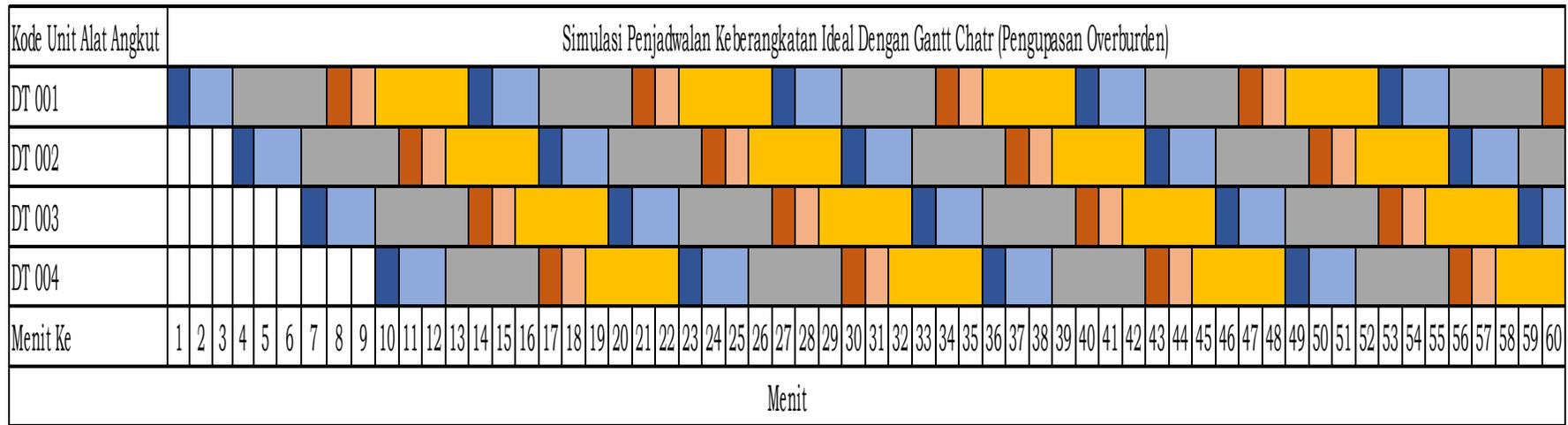
Dari tabel 10 dapat dilihat waktu edar aktual alat angkut pada masing-masing tahapan kegiatan penambangan yang nantinya dapat digunakan untuk penjadwalan keberangkatan dan kedatangan alat angkut baik itu pada *area loading* maupun *area dumping* pada masing-masing kegiatan operasional. Untuk waktu tunggu 2.42 menit, waktu penempatan dan pengisian 1.97 menit, waktu menuju disposal 3.97 menit, waktu penempatan dan penumpahan material 1.15 menit, dan waktu kembali menuju *front loading* 3.73 menit. Sehingga memiliki waktu edar untuk satu alat angkut 13.28 menit.

Simulasi penjadwalan keberangkatan dan kedatangan alat angkut yang dibuat harus sesuai dengan data pengamatan di lapangan yang mana data tersebut berupa data jumlah unit alat angkut dalam satu fleet dan data waktu edar alat angkut (*cycle time*). Sehingga untuk mempermudah penjadwalan keberangkatan dan kedatangan alat angkut di *front* kerja.

Sebelum pembuatan simulasi keberangkatan hasil perhitungan dilakukan pada kegiatan tahap 1 dimana pada tahap ini terjadi di *area loading* yang merupakan tempat yang paling sering terjadi antrian. Pada gambar 5

merupakan simulasi penjadwalan kedatangan dan keberangkatan alat angkut yang ideal pada kegiatan pengupasan *overburden* dengan menggunakan gantt chart. Simulasi dilakukan pada tahap dimana alat angkut berada di *area loading*, dikarenakan di lokasi tersebut sangat memungkinkan untuk terjadinya antrian alat angkut. Sedangkan untuk tahapan lainnya seperti pada saat *hauling* menuju *dumping point*, lokasi *dumping point*, dan *hauling* kembali menuju *area loading* secara teori matematis ada kemungkinan terjadinya antri.

Gambar 5. Simulasi Penjadwalan Keberangkatan Ideal pada Kegiatan Pengupasan Overburden



Keterangan :

	Manuver Loading (Penempatan di front)
	Loading (Pengisian)
	Hauling (Jalan menuju Disposal Bermuatan)
	Manuver Dumping (Penempatan di Disposal)
	Dumping (Menumpahkan Material)
	Kembali Kosong

Gambar 5 merupakan penjadwalan simulasi penjadwalan keberangkatan ideal pada kegiatan pengupasan overburden dimana penyusunan jadwal keberangkatan ini berdasarkan waktu edar *dump truck* dari masing-masing kegiatan dapat dilihat pada tabel 10 sebelumnya. Waktu edar aktual rata-rata pada pengupasan overburden adalah 13.28 menit dengan waktu tunggu 2.42 menit dibulatkan menjadi 3 menit, waktu penempatan dan pengisian 1.97 menit dibulatkan menjadi 2 menit, waktu menuju disposal 3.97 menit dibulatkan menjadi 4 menit, waktu penempatan dan penumpahan material 1.15 menit dibulatkan menjadi 2 menit, dan waktu kembali menuju *front loading* 3.73 menit dibulatkan menjadi 4 menit.

Perubahan waktu edar ini terjadi karena pada saat pembuatan penjadwalan diperkirakan bahwa semua alat mekanis harus bekerja 100% baik itu alat gali muat dan alat angkut sehingga tidak terdapat waktu terbuang karena keadaan antri pada saat pemuatan. Selain itu pengurangan waktu edar ini bisa dicapai apabila setiap *driver dump truck* harus menambah kecepatan manuver sehingga waktu edar dari alat angkut bisa sesuai dengan hasil penjadwalan tetapi harus tetap memperhatikan keselamatan.

Penjadwalan keberangkatan dan kedatangan ini bertujuan untuk mengatur waktu keberangkatan dan kedatangan alat angkut dari *area loading* masing-masing sehingga nantinya arus perjalanan alat angkut menjadi lancar dan terorganisir. Perlu diketahui bahwa pada penjadwalan keberangkatan dan kedatangan yang ideal diasumsikan bahwa *driver* alat angkut akan mengikuti penjadwalan yang telah dibuat sehingga nantinya akan dapat terlaksana sebagai mana rancangan penjadwalan yang dibuat dan dapat meningkatkan produktivitas dari alat angkut.

Jika simulasi penjadwalan yang telah dibuat dapat diterapkan pada kegiatan operasional maka tidak ada lagi waktu yang terbuang karena alat angkut harus mengantri. Selain itu penerapan jadwal kedatangan dan keberangkatan ini nantinya akan memperlancar arus alat angkut dan juga tentunya tujuan utama dari penjadwalan ini untuk meningkatkan jumlah produksi dari alat angkut. Adapun jumlah produksi alat angkut sesudah dilakukan penjadwalan adalah sebagai berikut.

$$\begin{aligned}
 Q_{DT} &= \frac{60 \times n \times Cb \times Ff \times N \times Ek \times Sf}{CT} \\
 &= \frac{60 \times 6 \times 1.6 \times 0.85 \times 4 \times 0.86 \times 0.8}{10.86} \\
 &= \frac{336,84}{10.86}
 \end{aligned}$$

= 124,04 BCM/Jam

Tabel 11. Perbandingan Produksi Aktual dan Setelah Penjadwalan

No	Kegiatan Operasional	Jumlah Alat Angkut	Produksi Sebelum Penjadwalan Keberangkatan	Produksi Setelah Penjadwalan Keberangkatan
1	Pengupasan <i>Overburden</i>	4	101,44 BCM/Jam	135.89,04 BCM/Jam

Dari tabel 11 diatas dapat dilihat bahwa terjadi peningkatan produksi jika penjadwalan simulasi keberangkatan dan kedatangan alat angkut yang telah dibuat dapat diterapkan serta menghilangkan waktu hambatan pada kegiatan pengupasan *overburden* yang mana sebelum dilakukan simulasi penjadwalan keberangkatan. Selain itu, simulasi penjadwalan ini dapat memberikan pedoman terhadap unit pekerja mengenai batas waktu untuk memulai dan mengakhiri pekerjaan dan juga dapat menghindari pemakaian alat mekanis yang berlebih yang mana dalam hal ini berupa alat angkut.

V KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 KESIMPULAN

Berdasarkan hasil dan pembahasan dari penelitian ini, penulis dapat menarik kesimpulan sebagai berikut:

1. *Cycle time* atau waktu edar yang diperlukan oleh alat gali muat berupa excavator jenis Kobelco SK330 adalah 0.367 menit dan *cycle time* alat angkut berupa *dump truck* jenis faw adalah 13.28 menit.
2. Jumlah produktivitas dari masing masing alat gali muat dan alat angkut yang berdasarkan dengan kapasitas produksi masing-masing alat adalah 173.4 BCM/Jam dan 32.44 BCM/Jam.
3. Komposisi alat gali muat dan alat angkut optimal berdasarkan teori antrian pada kegiatan pengupasan *overburden* adalah 1 unit excavator Kobelco SK-330LC melayani 4 unit *dump truck* FAW.
4. Metode antrian berpengaruh terhadap peningkatan produktivitas alat angkut dengan melakukan penjadwalan keberangkatan dan kedatangan setelah dilakukan perbaikan waktu hambatan dibuktikan dengan MF tadinya 0.66 menjadi 0.81.

5.2 SARAN

Adapun saran yang dapat penulis berikan berdasarkan hasil penelitian yaitu:

Dari kegiatan penelitian yang telah dilakukan penulis menyarankan untuk meminimalisir waktu yang terbuang karena alat angkut harus mengantri dapat dilakukan simulasi penjadwalan kedatangan dan keberangkatan alat angkut sehingga dapat meningkatkan produksi. Untuk mendapatkan nilai MF = 1 maka perlu menambahkan 1 *Dump Truck* dapat dilihat pada lampiran 4.

DAFTAR PUSTAKA

- Dimiyati, T. (1992). *Operations Research*. Penerbit Sinar Baru Algensindo.
- Elvionita, D. R. (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). *Bina Tambang*, 3(2), 819–834.
- Ercelebi, S. (2009). Optimalization of Shovel-Truck System for Surfaces Mining. *The Southern Africa Institute of Mining and Metallurgy*, 433–439.
- Hartman, H. L. (1987). *Introductory Mining Engineering*. The University of Alabama.
- Herlita, P. (2018). Analisis Kebutuhan Alat Muat dan Alat Angkut Pada Kegiatan Penambangan Soil di Area 242 dengan Penerapan Metoda Antrian Untuk Memenuhi Target Produksi Clay 3000 ton/hari. *Bina Tambang*, 1310–1319.
- Indonesianto, Y. (2011). *Pemindahan Tanah Mekanis*. Program Studi Teknik Pertambangan, UPN “Veteran.”
- Liemin. (2018). Evaluasi Produksi Overburden Pada Front Kerja Excavator Hitachi Shovel. *Geomine*, 6, 1.
- May, M. (2013). *Application of Queuing Theory for Open Pit Truck/Shovel Haulage Systems*. Virginia Polythenic Institute and State University.
- Panduri, L. (2020). *Manajemen Operasional Teori dan Strategi*. Yayasan Kita Menulis.
- Rochmanhadi. (1985). *Perhitungan Biaya Pelaksanaan Pekerjaan dengan Menggunakan Alat Berat*. Badan Penerbitan Pekerjaan Umum.
- Shaddad, A. (2017). Analisis Keserasian Alat Mekanis (Match Factor) untuk Peningkatan Produktivitas. *Geomine*, 4.
- Tenrisukki. (2003). *Pemindahan Tanah Mekanis*. Gunadarma.

LAMPIRAN 1

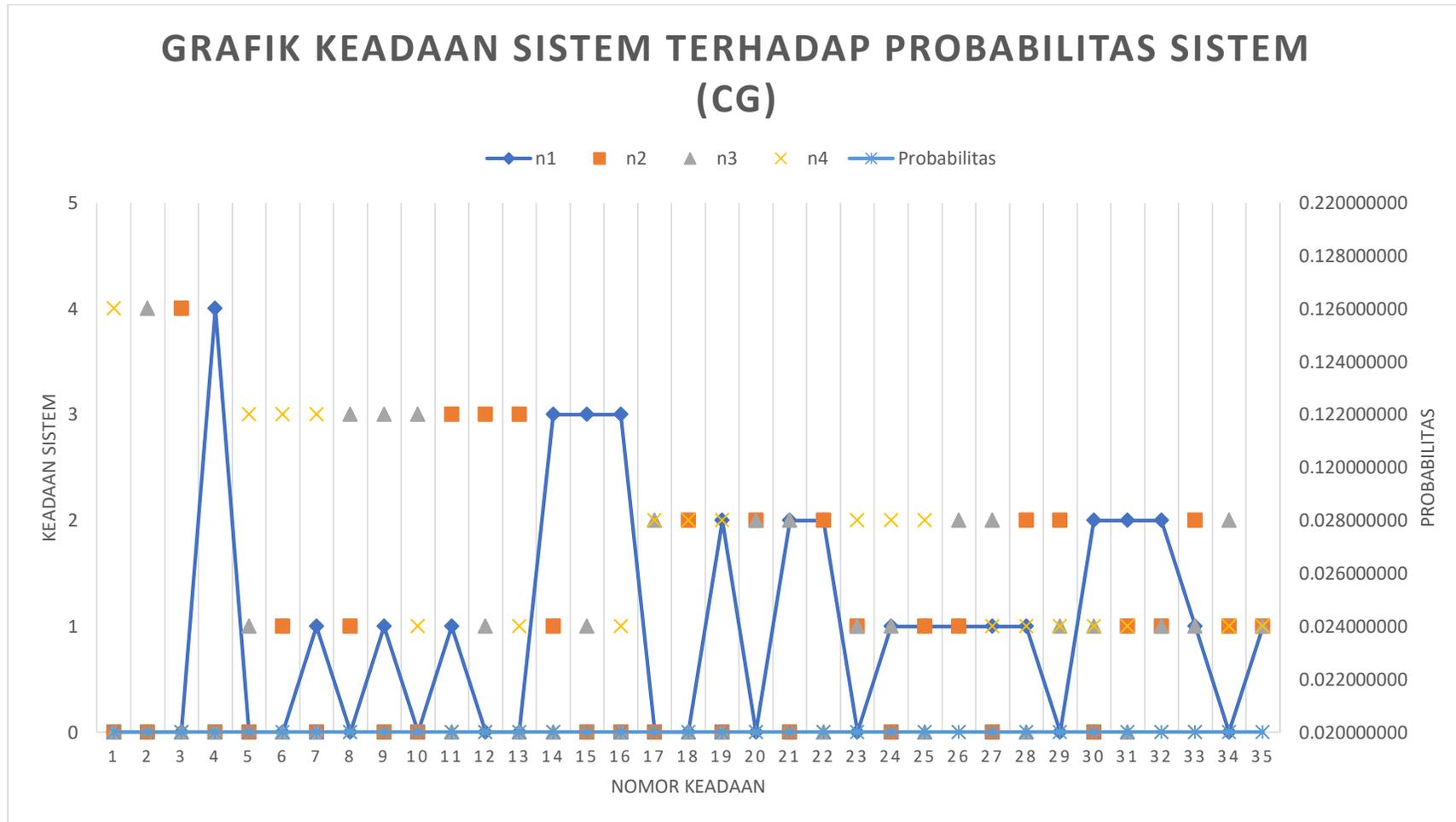
Lampiran 1. Probabilitas Keadaan Sistem Pengupasan

Overburden

Keadaan	n1	n2	n3	n4	Koefisien	Probabilitas
1	0	0	0	4	0.024424	0.003559
2	0	0	4	0	0.000641	0.0000934
3	0	4	0	0	0.031618	0.004607
4	4	0	0	0	1	0.145718
5	0	0	1	3	0.017763	0.002588
6	0	1	0	3	0.10421	0.015185
7	1	0	0	3	0.111654	0.01627
8	0	1	3	0	0.003758	0.000548
9	1	0	3	0	0.004027	0.000587
10	0	0	3	1	0.003523	0.000513
11	1	3	0	0	0.135506	0.019746
12	0	3	1	0	0.021558	0.003141
13	0	3	0	1	0.118568	0.017277
14	3	1	0	0	0.933333	0.136003
15	3	0	1	0	0.159091	0.023182
16	3	0	0	1	0.875	0.127503
17	0	0	2	2	0.009689	0.001412
18	0	2	0	2	0.166736	0.024296
19	2	0	0	2	0.382813	0.055783
20	0	2	2	0	0.011024	0.001606
21	2	0	2	0	0.02531	0.003688
22	2	2	0	0	0.435556	0.063468
23	0	1	1	2	0.056842	0.008283
24	1	0	1	2	0.060902	0.008874
25	1	1	0	2	0.357292	0.052064
26	1	1	2	0	0.023623	0.003442

27	1	0	2	1	0.022146	0.003227
28	1	2	0	1	0.381111	0.055535
29	0	2	1	1	0.060631	0.008835
30	2	0	1	1	0.139205	0.020285
31	2	1	0	1	0.816667	0.119003
32	2	1	1	0	0.148485	0.021637
33	1	2	1	0	0.069293	0.010097
34	0	1	2	1	0.02067	0.003012
35	1	1	1	1	0.129924	0.018932
TOTAL					6.86259	

Lampiran 2. Grafik Probabilitas Keadaan Sistem Pengupasan Overburden



Lampiran 3. Cycle Time Aktual Excavator Kobelco SK330

No	Digging	Swing Load	Passing	Swing Kosong	Total Waktu
1	6.96	9.39	3.22	7.1	26.67
2	6.82	3.51	6.24	7.14	23.71
3	5.25	6.89	3.79	6.08	22.01
4	6.94	4.7	5.03	6.05	22.72
5	6.49	7.03	4.1	5.48	23.1
6	4.78	7.07	4.55	6.08	22.48
7	6.84	7.89	3.37	5.58	23.68
8	6.62	6.67	5.11	5.42	23.82
9	6.49	6.81	3.3	6.57	23.17
10	5.8	5.46	3.51	6.4	21.17
11	6.01	7.54	3.09	4.98	21.62
12	5.88	7.56	3.62	6.17	23.23
13	4.93	7.43	3.61	5.28	21.25
14	6.03	7.03	3.83	6.09	22.98
15	6.25	6.51	3.61	5.28	21.65
16	6.13	7.03	3.03	6.09	22.28
17	6.8	6.17	4.48	5.13	22.58
18	5.57	5.25	3.11	4.85	18.78
19	6.72	5.99	3.36	4.23	20.3
20	5.45	5.53	4.02	3.77	18.77
21	5.4	5.6	3.2	5.17	19.37
22	6.14	6.9	3.1	5.3	21.44
23	4.83	5.14	3.28	4.86	18.11
24	6.4	7.23	4.15	5.37	23.15
25	5.55	7.3	3.15	6.15	22.15
26	5.59	5.11	3.63	5.21	19.54
27	6.57	6.03	4.02	5.11	21.73
28	6.75	5.22	4.37	6.03	22.37
29	6.42	7.1	4.12	6.1	23.74
30	5.79	6.11	3.33	5.33	20.56

31	6.16	6.21	4.09	5.22	21.68
32	6.18	7.1	4.36	5.49	23.13
33	6.4	6.24	4.11	5.59	22.34
34	5.67	6.44	4.38	6.28	22.77
35	5.64	5.46	3.55	4.42	19.07
36	6.86	7.13	4.12	6.15	24.26
37	5.82	5.48	3.55	6.41	21.26
38	7.11	5.46	4.09	5.23	21.89
39	6.43	5.03	3.15	6.25	20.86
40	5.64	4.72	4.08	5.26	19.7
41	6.27	5.38	4.24	4.7	20.59
42	6.18	7.13	3.13	6.08	22.52
43	6.4	5.53	5.1	5.17	22.2
44	6.53	6.5	4.55	4.2	21.78
45	6.38	6.15	3.1	5.33	20.96
46	4.02	7.82	2.58	5.73	20.15
47	5.75	7.15	2.84	6.03	21.77
48	6.85	8.35	2.76	4.69	22.65
49	4.13	8.56	2.75	5.15	20.59
50	5.7	7.24	2.29	4.98	20.21
51	5.42	8.6	3.93	7.23	25.18
52	4.55	8.81	3.26	5.54	22.16
53	5.8	7.5	3.45	4.91	21.66
54	3.93	7.71	2.3	4.62	18.56
55	5.38	9.36	2.5	5.41	22.65
56	6.09	8.1	1.59	5.03	20.81
57	6.5	8.07	3.08	3.83	21.48
58	6.36	7.19	3.42	7.11	24.08
59	4.67	8.17	2.57	5.05	20.46
60	3.47	8.04	2.98	6.97	21.46
61	6.09	10.75	2.79	5.83	25.46
62	5.68	5.48	3.58	4.94	19.68
63	4.46	7.96	4.24	5.2	21.86

64	6.47	7.06	3.39	5.06	21.98
65	6.1	7.6	3.53	5.17	22.4
66	5.74	7.37	2.99	5.18	21.28
67	3.74	8.41	3.31	8.25	23.71
68	4.8	7.23	4.15	7.03	23.21
69	5.79	7.75	2.8	5.7	22.04
70	4.97	8.1	2.6	6.44	22.11
71	4.59	6.35	2.92	5.97	19.83
72	6.38	7.4	2.63	7.74	24.15
73	6.95	7.15	3.07	6.03	23.2
74	4.15	6.83	3.27	5.18	19.43
75	6.52	5.89	2.92	5.87	21.2
76	6.35	7.41	2.96	5.39	22.11
77	6.17	9.56	3.68	5.34	24.75
78	5.11	8.69	3.54	6.68	24.02
79	7.67	7.7	2.76	5.71	23.84
80	6.11	7.37	3.2	5.46	22.14
81	7.65	8.19	3.53	5.6	24.97
82	7.33	7.86	2.23	5.54	22.96
83	7.32	7.85	2.83	6.95	24.95
84	4.05	4.53	2.77	5.79	17.14
85	7.42	7.76	3.54	5.12	23.84
86	5.25	9.79	3.37	6.4	24.81
87	5.5	9.22	3.97	7.29	25.98
88	5.91	6.94	3.23	5.12	21.2
89	5.45	7.87	3.78	4.86	21.96
90	5.18	8.68	3.22	6.25	23.33
91	5.48	10.46	3.56	4.96	24.46
92	5.4	5.98	4.04	5.19	20.61
93	4.14	8.16	2.8	4.12	19.22
94	6.08	7.46	3.01	6.65	23.2
95	6.49	7.32	3.1	4.56	21.47
96	4.91	8.41	3.06	6.42	22.8

97	5.6	10.7	3.83	4.43	24.56
98	4.07	6.57	2.37	5.71	18.72
99	4.46	7.94	3.13	7.25	22.78
100	4.46	7.94	3.13	7.25	22.78
Total (detik)	580.48	715.52	345.06	566.09	2207.15
Rata-rata (detik)	5.80	7.15	3.45	5.66	22.07

Lampiran 3. Cycle Time Aktual Dump Truck Faw

No	Waiting front	Manuver Loading	Loading	Hauling	Manuver Dumping	Dumping	Return	Total
	(detik)	(detik)	(detik)	(detik)	(detik)	(detik)	(detik)	
1	118	41	62	233	29	22	243	748
2	126	40	59	238	34	21	238	756
3	114	39	68	232	22	26	234	735
4	136	27	82	252	22	28	223	770
5	202	34	73	203	27	25	216	780
6	183	38	52	219	28	29	233	782
7	160	40	83	220	22	26	251	802
8	172	45	85	227	20	29	252	830
9	131	46	63	216	18	36	255	765
10	134	41	91	241	25	30	235	797
11	123	25	73	204	36	44	221	726
12	132	18	86	242	42	33	220	773
13	111	26	62	195	22	35	228	679
14	117	24	55	228	23	43	233	723
15	181	31	63	219	26	38	216	774
16	85	30	144	257	29	34	211	790
17	114	26	124	227	20	36	210	757
18	117	24	128	226	22	37	229	783

19	137	29	76	237	17	37	234	767
20	136	27	80	267	29	38	240	817
21	153	28	74	239	21	33	243	791
22	113	28	68	241	26	33	260	769
23	86	26	83	256	29	31	274	785
24	181	27	69	244	14	37	264	836
25	146	29	82	277	13	39	249	835
26	201	29	31	223	18	40	234	776
27	137	26	73	224	17	33	277	787
28	100	30	69	245	19	43	243	749
29	140	27	72	251	25	35	234	784
30	106	35	76	235	27	40	243	762
31	226	29	81	227	22	39	235	859
32	135	32	90	252	25	41	245	820
33	152	25	91	235	27	39	210	779
34	166	38	88	255	36	37	228	848
35	127	26	74	228	29	38	240	762
36	189	28	85	239	30	35	225	831
37	251	41	73	274	22	31	251	943
38	104	33	97	215	18	39	181	687
39	107	31	104	238	28	41	191	740
40	178	34	85	205	34	41	192	769
41	102	29	81	212	24	35	151	634

42	122	33	96	189	46	39	198	723
43	114	34	83	228	30	36	194	719
44	132	48	101	213	23	42	170	729
45	141	38	74	182	29	39	126	629
46	195	59	71	202	25	41	160	753
47	157	45	71	211	32	37	154	707
48	116	55	64	224	21	38	205	723
49	158	32	72	230	25	40	197	754
50	115	41	72	293	31	38	154	744
51	81	39	79	217	25	39	205	685
52	111	38	75	202	23	38	155	642
53	119	42	77	277	25	36	186	762
54	241	28	84	292	26	57	146	874
55	153	41	96	235	19	53	212	809
56	151	48	81	207	27	42	241	797
57	130	36	81	199	39	45	201	731
58	235	37	99	252	29	39	193	884
59	251	55	82	240	28	44	194	894
60	141	42	93	250	38	47	237	848
61	177	41	83	212	36	42	231	822
62	185	37	89	282	37	57	226	913
63	131	48	72	230	26	56	195	758
64	114	46	85	199	24	53	207	728

65	170	34	94	251	27	42	236	854
66	133	32	83	239	35	45	242	809
67	165	35	75	261	29	42	239	846
68	116	37	77	251	31	46	242	800
69	147	51	82	225	35	45	231	816
70	152	39	75	255	32	42	235	830
71	122	38	87	262	37	51	222	819
72	117	29	82	231	35	55	242	791
73	175	31	75	265	39	43	237	865
74	139	35	85	255	32	47	249	842
75	132	28	81	227	38	55	219	780
76	236	34	91	272	29	44	237	943
77	155	40	84	275	35	51	250	890
78	163	45	92	258	38	47	225	868
79	135	38	86	239	39	42	252	831
80	114	41	87	253	37	42	236	810
81	123	32	78	250	27	39	255	804
82	140	37	83	272	28	45	252	857
83	116	33	85	232	32	39	240	777
84	132	38	78	263	34	45	231	821
85	130	35	100	235	28	49	205	782
86	135	34	94	256	30	41	251	841
87	122	38	76	248	37	44	212	777

88	145	41	97	254	33	41	225	836
89	182	37	104	231	34	46	226	860
90	154	35	100	266	38	49	255	897
91	138	35	95	251	31	52	228	830
92	191	32	93	238	39	46	228	867
93	150	39	95	241	33	55	247	860
94	126	34	97	252	35	47	249	840
95	135	32	85	249	34	45	237	817
96	185	44	94	228	39	56	241	887
97	149	37	81	254	41	53	231	846
98	115	29	98	237	37	49	248	813
99	135	35	86	230	31	42	251	810
100	181	38	96	274	35	47	252	923
Total (detik)	14554	3547	8286	23844	2905	4094	22437	79667
Rata-rata (detik)	145.54	35.47	82.86	238.44	29.05	40.94	224.37	796.67

Lampiran 4. Kegiatan Pengupasan *Overburden*

Cycle time pada kegiatan pengupasan *overburden*

$$\begin{aligned} \text{CTE} &= \text{DgT} + \text{SLT} + \text{Dpt} + \text{SET} \\ &= 5.80 + 7.15 + 3.45 + 5.66 \\ &= 22.07 \text{ detik} \\ &= 0.367 \text{ menit} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{CTDT} &= \text{LT} + \text{HLT} + \text{SDT} + \text{DT} + \text{RT} + \text{SLT} + \text{QT} \\ &= 82.86 + 238.44 + 35.47 + 40.94 + 224.37 \\ &\quad + 29.05 + 145.54 \\ &= 796,67 \text{ detik} \\ &= 13.28 \text{ menit} \end{aligned}$$

Match factor pada kegiatan pengupasan *overburden*

$$\begin{aligned} \text{MF} &= \frac{Na \times n \times Ctm}{Nm \times Cta} \\ &= \frac{6 \times 4 \times 0.367}{1 \times 13.28} \\ &= \frac{8.808}{13.28} \\ &= 0.66 \end{aligned}$$

Match factor yang telah diperbaiki dengan menghilangkan waktu tunggu pada kegiatan pengupasan *overburden*

$$\begin{aligned} \text{MF} &= \frac{Na \times n \times Ctm}{Nm \times Cta} \\ &= \frac{6 \times 4 \times 0.367}{1 \times 10.85} \\ &= \frac{8.808}{10.85} \\ &= 0.81 \end{aligned}$$

Match factor yang telah diperbaiki dengan menghilangkan waktu tunggu dan menambahkan jumlah *dump truck* pada kegiatan pengupasan *overburden*

$$\begin{aligned} \text{MF} &= \frac{Na \times n \times Ctm}{Nm \times Cta} \\ &= \frac{6 \times 5 \times 0,367}{1 \times 10,85} \\ &= \frac{11,01}{10,85} \\ &= 1 \end{aligned}$$

Lampiran 5. Efisiensi Kerja

Jenis Alat	Excavator	DT
Waktu yang tersedia dalam 1 shift (menit)(07.00-18.00)	600	600
Hambatan yang tidak dapat dihindari		
Persiapan dan berangkat kepermukaan kerja	10	5
Pengaturan posisi dan penempatan alat	10	5
Pengisian BBM		5
Pemeriksaan dan pemanasan alat	10	10
Jumlah (menit)	30	25
Hambatan yang dapat dihindari (menit)		
Terlambat datangnya karyiawan	15	15
Istirahat terlalu awal	10	10
Terlambat kerja setelah istirahat	15	15
Berhenti sebelum akhir kerja	15	15
Jumlah (menit)	55	55
Waktu Lost time (menit)	85	75

*sumber data : PT Berkat Bara Persada Juli 2022

- $W_{ke} = W_{kt} - (W_{dh} + W_{tdh})$
 W_{ke} : Waktu kerja efektif
 W_{kt} : Waktu kerja tersedia
 W_{dh} : Waktu dapat dihindari
 W_{tdh} : Waktu yang tidak dapat dihindari
- Waktu kerja efektif alat muat
 $W_{keexca} = 600 \text{ menit/shift} - (30 \text{ menit/shift} + 55 \text{ menit/shift})$
 $= 515 \text{ menit/shift}$
 $= 8,58 \text{ jam/shift}$
- Waktu kerja efektif alat angkut
 $W_{ketruck} = 600 \text{ menit/shift} - (25 \text{ menit/shift} + 55 \text{ menit/shift})$
 $= 520 \text{ menit/shift}$
 $= 8,6 \text{ jam/shift}$

Lampiran 6. Kemampuan Produksi Alat Pada Kegiatan Pengupasan
Overburden

$$\begin{aligned}
 Q_{\text{excavator}} &= \frac{60 \times Cb \times Ff \times Ek \times sf}{CT} \\
 &= \frac{60 \times 1.6 \times 0.85 \times 0.858 \times 0.8}{0.367} \\
 &= 152,6 \text{ BCM/jam} \\
 &= 152,6 \text{ BCM/jam} \times 8,58 \text{ jam/shift} \\
 &= 1.309,3 \text{ BCM/Hari} \\
 &= 1.309,3 \text{ BCM/Hari} \times 7 \text{ Hari/Minggu} \\
 &= 9.165,1 \text{ BCM/Minggu} \\
 &= 1.309,3 \text{ BCM/Hari} \times 29 \text{ Hari/Bulan} \\
 &= 37.967,7 \text{ BCM/Bulan}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 Q_{Dt} &= \frac{60 \times n \times Cb \times Ff \times Ek \times sf}{CT} \\
 &= \frac{60 \times 6 \times 1.6 \times 0.85 \times 0.86 \times 0.8}{13.28} \\
 &= 25,36 \text{ BCM/Jam} \\
 &= 25,36 \text{ BCM/Jam} \times 4 \text{ (jumlah DT)} \\
 &= 101,44 \text{ BCM/jam} \\
 &= 101,44 \text{ BCM/jam} \times 8,6 \text{ jam/shift} \\
 &= 872,38 \text{ BCM/Hari} \\
 &= 872,38 \text{ BCM/Hari} \times 7 \text{ Hari/Minggu} \\
 &= 6.106,66 \text{ BCM/Minggu} \\
 &= 872,38 \text{ BCM/Hari} \times 29 \text{ Hari/Bulan} \\
 &= 25.299,02 \text{ BCM/Bulan}
 \end{aligned}$$

Lampiran 7. Efisiensi Kerja yang telah diperbaiki

Jenis Alat	Excavator	DT
Waktu yang tersedia dalam 1 shift (menit)(07.00-18.00)	600	600
Hambatan yang tidak dapat dihindari		
Persiapan dan berangkat kepermukaan kerja	5	5
Pengaturan posisi dan penempatan alat	5	5
Pengisian BBM		5
Pemeriksaan dan pemanasan alat	5	5
Jumlah (menit)	15	15
Hambatan yang dapat dihindari (menit)		
Terlambat datangnya karyawan	5	5
Istirahat terlalu awal	5	5
Terlambat kerja setelah istirahat	5	5
Berhenti sebelum akhir kerja	5	5
Jumlah (menit)	20	20
Waktu Lost time (menit)	35	35

*sumber data : PT Berkat Bara Persada Juli 2022

- $W_{ke} = W_{kt} - (W_{dh} + W_{tdh})$
 W_{ke} : Waktu kerja efektif
 W_{kt} : Waktu kerja tersedia
 W_{dh} : Waktu dapat dihindari
 W_{tdh} : Waktu yang tidak dapat dihindari
- Waktu kerja efektif alat muat
 $W_{keexca} = 600 \text{ menit/shift} - (15 \text{ menit/shift} + 20 \text{ menit/shift})$
 $= 565 \text{ menit/shift}$
 $= 9.42 \text{ jam/shift}$
- Waktu kerja efektif alat angkut
 $W_{ketruck} = 600 \text{ menit/shift} - (15 \text{ menit/shift} + 20 \text{ menit/shift})$
 $= 565 \text{ menit/shift}$
 $= 9.42 \text{ jam/shift}$

Lampiran 8. Kemampuan Produksi Alat Pada Kegiatan Pengupasan *Overburden* setelah perbaikan

$$\begin{aligned}
 Q_{\text{excavator}} &= \frac{60 \times cb \times Ff \times Ek \times Sf}{CT} \\
 &= \frac{60 \times 1.6 \times 0.85 \times 0.942 \times 0.8}{0.367} \\
 &= 167,55 \text{ BCM/jam} \\
 &= 167,55 \text{ BCM/jam} \times 9,42 \text{ jam/shift} \\
 &= 1.578,321 \text{ BCM/Hari} \\
 &= 1.578,321 \text{ BCM/Hari} \times 7 \text{ Hari/Minggu} \\
 &= 11.048,247 \text{ BCM/Minggu} \\
 &= 1.578,321 \text{ BCM/Hari} \times 29 \text{ Hari/Bulan} \\
 &= 45.771,309 \text{ BCM/Bulan}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 Q_{\text{DT}} &= \frac{60 \times n \times cb \times Ff \times Ek \times Sf}{CT} \\
 &= \frac{60 \times 6 \times 1.6 \times 0.85 \times 0.942 \times 0.8}{10.86} \\
 &= 33,97 \text{ BCM/jam} \\
 &= 33.97 \text{ BCM/jam} \times 4 \text{ DT} \\
 &= 135,88 \text{ BCM/jam} \\
 &= 135,88 \text{ BCM/jam} \times 9,42 \text{ jam/shift} \\
 &= 1.279,99 \text{ BCM/Hari} \\
 &= 1.279,99 \text{ BCM/Hari} \times 7 \text{ Hari/Minggu} \\
 &= 8.959,93 \text{ BCM/Minggu} \\
 &= 1.279,99 \text{ BCM/Hari} \times 29 \text{ Hari/Bulan} \\
 &= 37.119,71 \text{ BCM/Bulan}
 \end{aligned}$$

Lampiran 9. Perhitungan Tingkat Pelayanan pada Kegiatan *Overburden*

a) Tahap 1

T1 = Waktu tunggu + waktu penempatan + waktu pengisian

$$= 2.43 + 0.59 + 1.38$$

$$= 4.4 \text{ menit}$$

$$\mu_1 = \frac{1}{4.4} \times 60 \text{ menit/jam}$$

$$\begin{aligned} & T_1 \\ &= \frac{1}{4.4} \times 60 \text{ menit/jam} \end{aligned}$$

$$= 13,64 \text{ truck/jam} = 14 \text{ truck/jam}$$

b) Tahap 2

T2 = waktu perjalanan alat angkut bermuatan

$$= 3.97 \text{ menit/truck}$$

$$\mu_2 = \frac{1}{3.97} \times 60 \text{ menit/jam}$$

$$\begin{aligned} & T_2 \\ &= \frac{1}{3.97} \times 60 \text{ menit/jam} \end{aligned}$$

$$= 15,11 \text{ truck/jam} = 15 \text{ truck/jam}$$

c) Tahap 3

T3 = waktu dumping

$$= 0.68 \text{ menit/truck}$$

$$\mu_3 = \frac{1}{0.68} \times 60 \text{ menit/jam}$$

$$\begin{aligned} & T_3 \\ &= \frac{1}{0.68} \times 60 \text{ menit/jam} \end{aligned}$$

$$= 88.24 \text{ truck/jam} = 88 \text{ truck/jam}$$

d) Tahap 4

T4 = waktu kembali alat angkut tidak bermuatan

$$= 3.74 \text{ menit}$$

$$\mu_4 = \frac{1}{3.74} \times 60 \text{ menit/jam}$$

$$\begin{aligned} & T_4 \\ &= \frac{1}{3.74} \times 60 \text{ menit/jam} \end{aligned}$$

$$= 16.04 \text{ truck/jam} = 16 \text{ truck/jam}$$

Lampiran 10. Tabel Perhitungan Tingkat Layanan Pada Kegiatan Pengupasan Overburden

NO	T (menit)	μ (truck/jam)
1	4.4	14
2	3.97	15
3	0.68	88
4	3.74	16

Lampiran 11. Perhitungan Koefisien Seluruh Keadaan Sistem

Pengupasan Overburden

1. Koefisien P (0,0,0,4)

$$= \frac{\mu_1 (N-n_1)}{(n_2)! (\mu_2^{n_2}) (\mu_3^{n_3}) (n_4)! (\mu_4^{n_4})} = \frac{14 (4-1)}{(0)! (15^0) (88^0) (3)! (16^3)}$$

$$= 0.111654$$
2. Koefisien P (0,0,4,0)

$$= \frac{\mu_1 (N-n_1)}{(n_2)! (\mu_2^{n_2}) (\mu_3^{n_3}) (n_4)! (\mu_4^{n_4})} = \frac{14 (4-0)}{(0)! (15^0) (88^0) (4)! (16^4)}$$

$$= 0.024424$$
3. Koefisien P (0,4,0,0)

$$= \frac{\mu_1 (N-n_1)}{(n_2)! (\mu_2^{n_2}) (\mu_3^{n_3}) (n_4)! (\mu_4^{n_4})} = \frac{14 (4-0)}{(0)! (15^0) (88^4) (0)! (16^0)}$$

$$= 0.000641$$
4. Koefisien P (4,0,0,0)

$$= \frac{\mu_1 (N-n_1)}{(n_2)! (\mu_2^{n_2}) (\mu_3^{n_3}) (n_4)! (\mu_4^{n_4})} = \frac{14 (4-0)}{(4)! (15^0) (88^0) (0)! (16^0)}$$

$$= 0.031618$$
5. Koefisien P (0,0,1,3)

$$= \frac{\mu_1 (N-n_1)}{(n_2)! (\mu_2^{n_2}) (\mu_3^{n_3}) (n_4)! (\mu_4^{n_4})} = \frac{14 (4-0)}{(0)! (15^0) (88^1) (3)! (16^3)}$$

$$= 0.017763$$
6. Koefisien P (0,1,0,3)

$$= \frac{\mu_1 (N-n_1)}{(n_2)! (\mu_2^{n_2}) (\mu_3^{n_3}) (n_4)! (\mu_4^{n_4})} = \frac{14 (4-0)}{(1)! (15^1) (88^0) (3)! (16^3)}$$

$$= 0.104210$$
7. Koefisien P (1,0,0,3)

$$= \frac{\mu_1 (N-n_1)}{(n_2)! (\mu_2^{n_2}) (\mu_3^{n_3}) (n_4)! (\mu_4^{n_4})} = \frac{14 (4-1)}{(0)! (15^0) (88^0) (3)! (16^3)}$$

$$= 0.111654$$
8. Koefisien P (0,1,3,0)

$$= \frac{\mu_1 (N-n_1)}{(n_2)! (\mu_2^{n_2}) (\mu_3^{n_3}) (n_4)! (\mu_4^{n_4})} = \frac{14 (4-0)}{(1)! (15^1) (88^3) (0)! (16^0)}$$

$$= 0.003758$$
9. Koefisien P (1,0,3,0)

$$= \frac{\mu_1 (N-n_1)}{(n_2)! (\mu_2^{n_2}) (\mu_3^{n_3}) (n_4)! (\mu_4^{n_4})} = \frac{14 (4-1)}{(0)! (15^0) (88^3) (0)! (16^0)}$$

$$= 0.004027$$
10. Koefisien P (0,0,3,1)

$$= \frac{\mu_1 (N-n_1)}{(n_2)! (\mu_2^{n_2}) (\mu_3^{n_3}) (n_4)! (\mu_4^{n_4})} = \frac{14 (4-0)}{(0)! (15^0) (88^3) (1)! (16^1)}$$

$$= 0.003023$$
11. Koefisien P (1,3,0,0)

$$= \frac{\mu_1 (N-n_1)}{(n_2)! (\mu_2^{n_2}) (\mu_3^{n_3}) (n_4)! (\mu_4^{n_4})} = \frac{14 (4-1)}{(3)! (15^3) (88^0) (0)! (16^0)}$$

$$= 0.135506$$
12. Koefisien P (0,3,1,0)

$$= \frac{\mu_1 (N-n_1)}{(n_2)! (\mu_2^{n_2}) (\mu_3^{n_3}) (n_4)! (\mu_4^{n_4})} = \frac{14 (4-0)}{(3)! (15^3) (88^1) (0)! (16^0)}$$

$$= 0.21558$$
13. Koefisien P (0,3,0,1)

$$= \frac{\mu_1 (N-n_1)}{(n_2)! (\mu_2^{n_2}) (\mu_3^{n_3}) (n_4)! (\mu_4^{n_4})} = \frac{14 (4-0)}{(3)! (15^3) (88^0) (1)! (16^1)}$$

$$= 0.118568$$

14. Koefisien P (3,1,0,0)

$$\begin{aligned} &= \frac{\mu_1 (N-n_1)}{(n_2)! (\mu_2^{n_2}) (\mu_3^{n_3}) (n_4)! (\mu_4^{n_4})} \\ &= \frac{14(4-3)}{(1)! (15^1) (88^0) (0)! (16^0)} \\ &= 0.933333 \end{aligned}$$

15. Koefisien P (3,0,1,0)

$$\begin{aligned} &= \frac{\mu_1 (N-n_1)}{(n_2)! (\mu_2^{n_2}) (\mu_3^{n_3}) (n_4)! (\mu_4^{n_4})} \\ &= \frac{14(4-3)}{(0)! (15^0) (88^1) (0)! (16^0)} \\ &= 0.159091 \end{aligned}$$

16. Koefisien P (3,0,0,1)

$$\begin{aligned} &= \frac{\mu_1 (N-n_1)}{(n_2)! (\mu_2^{n_2}) (\mu_3^{n_3}) (n_4)! (\mu_4^{n_4})} \\ &= \frac{14(4-3)}{(0)! (15^0) (88^0) (1)! (16^1)} \\ &= 0.875000 \end{aligned}$$

17. Koefisien P (0,0,2,2)

$$\begin{aligned} &= \frac{\mu_1 (N-n_1)}{(n_2)! (\mu_2^{n_2}) (\mu_3^{n_3}) (n_4)! (\mu_4^{n_4})} \\ &= \frac{14(4-0)}{(0)! (15^0) (88^2) (2)! (16^2)} \\ &= 0.009689 \end{aligned}$$

18. Koefisien P (0,2,0,2)

$$\begin{aligned} &= \frac{\mu_1 (N-n_1)}{(n_2)! (\mu_2^{n_2}) (\mu_3^{n_3}) (n_4)! (\mu_4^{n_4})} \\ &= \frac{14(4-0)}{(2)! (15^2) (88^0) (2)! (16^2)} \\ &= 0.166736 \end{aligned}$$

19. Koefisien P (2,0,0,2)

$$\begin{aligned} &= \frac{\mu_1 (N-n_1)}{(n_2)! (\mu_2^{n_2}) (\mu_3^{n_3}) (n_4)! (\mu_4^{n_4})} \\ &= \frac{14(4-2)}{(0)! (15^0) (88^0) (2)! (16^2)} \\ &= 0.382813 \end{aligned}$$

20. Koefisien P (0,2,2,0)

$$\begin{aligned} &= \frac{\mu_1 (N-n_1)}{(n_2)! (\mu_2^{n_2}) (\mu_3^{n_3}) (n_4)! (\mu_4^{n_4})} \\ &= \frac{14(4-0)}{(2)! (15^2) (88^2) (0)! (16^0)} \\ &= 0.011024 \end{aligned}$$

21. Koefisien P (2,0,2,0)

$$\begin{aligned} &= \frac{\mu_1 (N-n_1)}{(n_2)! (\mu_2^{n_2}) (\mu_3^{n_3}) (n_4)! (\mu_4^{n_4})} \\ &= \frac{14(4-2)}{(0)! (15^0) (88^2) (0)! (16^0)} \\ &= 0.025310435556 \end{aligned}$$

22. Koefisien P (2,2,0,0)

$$\begin{aligned} &= \frac{\mu_1 (N-n_1)}{(n_2)! (\mu_2^{n_2}) (\mu_3^{n_3}) (n_4)! (\mu_4^{n_4})} \\ &= \frac{14(4-2)}{(2)! (15^2) (88^0) (0)! (16^0)} \\ &= 0.435556 \end{aligned}$$

23. Koefisien P (0,1,1,2)

$$\begin{aligned} &= \frac{\mu_1 (N-n_1)}{(n_2)! (\mu_2^{n_2}) (\mu_3^{n_3}) (n_4)! (\mu_4^{n_4})} \\ &= \frac{14(4-0)}{(1)! (15^1) (88^1) (2)! (16^2)} \\ &= 0.056842 \end{aligned}$$

24. Koefisien P (1,0,1,2)

$$\begin{aligned} &= \frac{\mu_1 (N-n_1)}{(n_2)! (\mu_2^{n_2}) (\mu_3^{n_3}) (n_4)! (\mu_4^{n_4})} \\ &= \frac{14(4-1)}{(0)! (15^0) (88^1) (2)! (16^2)} \\ &= 0.060902 \end{aligned}$$

25. Koefisien P (1,1,0,2)

$$\begin{aligned} &= \frac{\mu_1 (N-n_1)}{(n_2)! (\mu_2^{n_2}) (\mu_3^{n_3}) (n_4)! (\mu_4^{n_4})} \\ &= \frac{14(4-1)}{(1)! (15^1) (88^0) (2)! (16^2)} \\ &= 0.357292 \end{aligned}$$

26. Koefisien P (1,1,2,0)

$$\begin{aligned} &= \frac{\mu_1 (N-n_1)}{(n_2)! (\mu_2^{n_2}) (\mu_3^{n_3}) (n_4)! (\mu_4^{n_4})} \\ &= \frac{14(4-1)}{(1)! (15^1) (88^2) (0)! (16^0)} \\ &= 0.023623 \end{aligned}$$

27. Koefisien P (1,0,2,1)

$$\begin{aligned} &= \frac{\mu_1 (N-n_1)}{(n_2)! (\mu_2^{n_2}) (\mu_3^{n_3}) (n_4)! (\mu_4^{n_4})} \\ &= \frac{14(4-1)}{(0)! (15^0) (88^2) (1)! (16^1)} \\ &= 0.022146 \end{aligned}$$

28. Koefisien P (1,2,0,1)

$$\begin{aligned} &= \frac{\mu_1 (N-n_1)}{(n_2)!(\mu_2^{n_2})(\mu_3^{n_3})(n_4)!(\mu_4^{n_4})} \\ &= \frac{14(4-1)}{(2)!(15^2)(88^0)(1)!(16^1)} \\ &= 0.381111 \end{aligned}$$

29. Koefisien P (0,2,1,1)

$$\begin{aligned} &= \frac{\mu_1 (N-n_1)}{(n_2)!(\mu_2^{n_2})(\mu_3^{n_3})(n_4)!(\mu_4^{n_4})} \\ &= \frac{14(4-0)}{(2)!(15^2)(88^1)(1)!(16^1)} \\ &= 0.060631 \end{aligned}$$

30. Koefisien P (2,0,1,1)

$$\begin{aligned} &= \frac{\mu_1 (N-n_1)}{(n_2)!(\mu_2^{n_2})(\mu_3^{n_3})(n_4)!(\mu_4^{n_4})} \\ &= \frac{14(4-2)}{(0)!(15^0)(88^1)(1)!(16^1)} \\ &= 0.139205 \end{aligned}$$

31. Koefisien P (2,1,0,1)

$$\begin{aligned} &= \frac{\mu_1 (N-n_1)}{(n_2)!(\mu_2^{n_2})(\mu_3^{n_3})(n_4)!(\mu_4^{n_4})} \\ &= \frac{14(4-2)}{(1)!(15^1)(88^0)(1)!(16^1)} \\ &= 0.816667 \end{aligned}$$

32. Koefisien P (2,1,1,0)

$$\begin{aligned} &= \frac{\mu_1 (N-n_1)}{(n_2)!(\mu_2^{n_2})(\mu_3^{n_3})(n_4)!(\mu_4^{n_4})} \\ &= \frac{14(4-2)}{(1)!(15^1)(88^1)(0)!(16^0)} \\ &= 0.148485 \end{aligned}$$

33. Koefisien P (1,2,1,0)

$$\begin{aligned} &= \frac{\mu_1 (N-n_1)}{(n_2)!(\mu_2^{n_2})(\mu_3^{n_3})(n_4)!(\mu_4^{n_4})} \\ &= \frac{14(4-1)}{(2)!(15^2)(88^1)(0)!(16^0)} \\ &= 0.069293 \end{aligned}$$

34. Koefisien P (0,1,2,1)

$$\begin{aligned} &= \frac{\mu_1 (N-n_1)}{(n_2)!(\mu_2^{n_2})(\mu_3^{n_3})(n_4)!(\mu_4^{n_4})} \\ &= \frac{14(4-0)}{(1)!(15^1)(88^2)(1)!(16^1)} \\ &= 0.020670 \end{aligned}$$

35. Koefisien P (1,1,1,1)

$$\begin{aligned} &= \frac{\mu_1 (N-n_1)}{(n_2)!(\mu_2^{n_2})(\mu_3^{n_3})(n_4)!(\mu_4^{n_4})} \\ &= \frac{14(4-1)}{(1)!(15^1)(88^1)(1)!(16^1)} \\ &= 0.129924 \end{aligned}$$

Lampiran 12. Perhitungan Probabilitas Seluruh Keadaan Pengupasan Overburden

$$1. P(0,0,0,4) = \frac{1}{\sum \text{Koefisien}} \times \text{Koefisien } P(0,0,0,4)$$

$$= \frac{1}{6.8629} \times 0.024424$$

$$= 0.003559$$

$$2. P(0,0,4,0) = \frac{1}{\sum \text{Koefisien}} \times \text{Koefisien } P(0,0,4,0)$$

$$= \frac{1}{6.8629} \times 0.000641$$

$$= 0.0000934$$

$$3. P(0,4,0,0) = \frac{1}{\sum \text{Koefisien}} \times \text{Koefisien } P(0,4,0,0)$$

$$= \frac{1}{6.8629} \times 0.031618$$

$$= 0.004607$$

$$4. P(4,0,0,0) = \frac{1}{\sum \text{Koefisien}} \times \text{Koefisien } P(4,0,0,0)$$

$$= \frac{1}{6.8629} \times 1.000000$$

$$= 0.145718$$

$$5. P(0,0,1,3) = \frac{1}{\sum \text{Koefisien}} \times \text{Koefisien } P(0,0,1,3)$$

$$= \frac{1}{6.8629} \times 0.017763$$

$$= 0.002588$$

$$6. P(0,1,0,3) = \frac{1}{\sum \text{Koefisien}} \times \text{Koefisien } P(0,1,0,3)$$

$$= \frac{1}{6.8629} \times 0.10421$$

$$= 0.015185$$

$$7. P(1,0,0,3) = \frac{1}{\sum \text{Koefisien}} \times \text{Koefisien } P(1,0,0,3)$$

$$\sum \text{Koefisien}$$

$$= \frac{1}{6.8629} \times 0.111654$$

$$= 0.01627$$

$$8. P(0,1,3,0) = \frac{1}{\Sigma \text{Koefisien}} \times \text{Koefisien } P(0,1,3,0)$$

$$= \frac{1}{6.8629} \times 0.003758$$

$$= 0.000548$$

$$9. P(1,0,3,0) = \frac{1}{\Sigma \text{Koefisien}} \times \text{Koefisien } P(1,0,3,0)$$

$$= \frac{1}{6.8629} \times 0.004027$$

$$= 0.000587$$

$$10. P(0,0,3,1) = \frac{1}{\Sigma \text{Koefisien}} \times \text{Koefisien } P(0,0,3,1)$$

$$= \frac{1}{6.8629} \times 0.003523$$

$$= 0.000513$$

$$11. P(1,3,0,0) = \frac{1}{\Sigma \text{Koefisien}} \times \text{Koefisien } P(1,3,0,0)$$

$$= \frac{1}{6.8629} \times 0.135506$$

$$= 0.019746$$

$$12. P(0,3,1,0) = \frac{1}{\Sigma \text{Koefisien}} \times \text{Koefisien } P(0,3,1,0)$$

$$= \frac{1}{6.8629} \times 0.021558$$

$$= 0.003141$$

$$13. P(0,3,0,1) = \frac{1}{\Sigma \text{Koefisien}} \times \text{Koefisien } P(0,3,0,1)$$

$$= \frac{1}{6.8629} \times 0.118568$$

$$= 0.017277$$

$$14. P(3,1,0,0) = \frac{1}{\Sigma \text{Koefisien}} \times \text{Koefisien } P(3,1,0,0)$$

$$= \frac{1}{6.8629} \times 0.933333$$

$$= 0.136003$$

$$15. P(3,0,1,0) = \frac{1}{\Sigma Koefisien} \times \text{Koefisien } P(3,0,1,0)$$

$$= \frac{1}{6.8629} \times 0.159091$$

$$= 0.023182$$

$$16. P(3,0,0,1) = \frac{1}{\Sigma Koefisien} \times \text{Koefisien } P(3,0,0,1)$$

$$= \frac{1}{6.8629} \times 0.875$$

$$= 0.127503$$

$$17. P(0,0,2,2) = \frac{1}{\Sigma Koefisien} \times \text{Koefisien } P(0,0,2,2)$$

$$= \frac{1}{6.8629} \times 0.009689$$

$$= 0.001412$$

$$18. P(0,2,0,2) = \frac{1}{\Sigma Koefisien} \times \text{Koefisien } P(0,2,0,2)$$

$$= \frac{1}{6.8629} \times 0.166736$$

$$= 0.024296$$

$$19. P(2,0,0,2) = \frac{1}{\Sigma Koefisien} \times \text{Koefisien } P(2,0,0,2)$$

$$= \frac{1}{6.8629} \times 0.382813$$

$$= 0.055783$$

$$20. P(0,2,2,0) = \frac{1}{\Sigma Koefisien} \times \text{Koefisien } P(0,2,2,0)$$

$$= \frac{1}{6.8629} \times 0.011024$$

$$= 0.001606$$

$$21. P(2,0,2,0) = \frac{1}{\Sigma Koefisien} \times \text{Koefisien } P(2,0,2,0)$$

$$= \frac{1}{6.8629} \times 0.02531$$

$$= 0.0036$$

$$22. P(2,2,0,0) = \frac{1}{\Sigma \text{Koefisien}} \times \text{Koefisien } P(2,2,0,0)$$

$$= \frac{1}{6.8629} \times 0.435556$$

$$= 0.063468$$

$$23. P(0,1,1,2) = \frac{1}{\Sigma \text{Koefisien}} \times \text{Koefisien } P(0,1,1,2)$$

$$= \frac{1}{6.8629} \times 0.056842$$

$$= 0.008283$$

$$24. P(1,0,1,2) = \frac{1}{\Sigma \text{Koefisien}} \times \text{Koefisien } P(1,0,1,2)$$

$$= \frac{1}{6.8629} \times 0.060902$$

$$= 0.008874$$

$$25. P(1,1,0,2) = \frac{1}{\Sigma \text{Koefisien}} \times \text{Koefisien } P(1,1,0,2)$$

$$= \frac{1}{6.8629} \times 0.357292$$

$$= 0.052064$$

$$26. P(1,1,2,0) = \frac{1}{\Sigma \text{Koefisien}} \times \text{Koefisien } P(1,1,2,0)$$

$$= \frac{1}{6.8629} \times 0.023623$$

$$= 0.003442$$

$$27. P(1,0,2,1) = \frac{1}{\Sigma \text{Koefisien}} \times \text{Koefisien } P(1,0,2,1)$$

$$= \frac{1}{6.8629} \times 0.022146$$

$$= 0.003227$$

$$28. P(1,2,0,1) = \frac{1}{\Sigma K_{efisien}} \times \text{Koefisien } P(1,2,0,1)$$

$$= \frac{1}{6.8629} \times 0.381111$$

$$= 0.055535$$

$$29. P(0,2,1,1) = \frac{1}{\Sigma Koefisien} \times \text{Koefisien } P(0,2,1,1)$$

$$= \frac{1}{6.8629} \times 0.060631$$

$$= 0.008835$$

$$30. P(2,0,1,1) = \frac{1}{\Sigma Koefisien} \times \text{Koefisien } P(2,0,1,1)$$

$$= \frac{1}{6.8629} \times 0.139205$$

$$= 0.020285$$

$$31. P(2,1,0,1) = \frac{1}{\Sigma Koefisien} \times \text{Koefisien } P(2,1,0,1)$$

$$= \frac{1}{6.8629} \times 0.816667$$

$$= 0.119003$$

$$32. P(2,1,1,0) = \frac{1}{\Sigma Koefisien} \times \text{Koefisien } P(2,1,1,0)$$

$$= \frac{1}{6.8629} \times 0.148485$$

$$= 0.021637$$

$$33. P(1,2,1,0) = \frac{1}{\Sigma Koefisien} \times \text{Koefisien } P(1,2,1,0)$$

$$= \frac{1}{6.8629} \times 0.069293$$

$$= 0.010097$$

$$34. P(0,1,2,1) = \frac{1}{\Sigma Koefisien} \times \text{Koefisien } P(0,1,2,1)$$

$$= \frac{1}{6.8629} \times 0.02067$$

$$=0.003012$$

$$35. P(1,1,1,1) \frac{1}{\sum \text{Koefisien}} \times \text{Koefisien } P(1,1,1,1)$$

$$= \frac{1}{6.8629} \times 0.129924$$

$$= 0.018932$$

Lampiran 13. Tabel Perhitungan Lq1, Lq3, Wq1, dan Wq3

n1>1	Probabilitas	∑ Probabilitas	Lq1
4	0.145718	0.145718	1.29439
3	0.136003	0.286688	
3	0.023182		
3	0.127503		
2	0.055783	0.283864	
2	0.003688		
2	0.063468		
2	0.020285		
2	0.119003		
2	0.021637		

Perhitungan Lq1, merupakan antrian alat angkut saat akan dimuat oleh alat gali muat dengan syarat n>1

$$\begin{aligned}
 Lq1 &= ((1 \times \sum \text{Probabilitas } n1=2) + (2 \times \sum \text{Probabilitas } \\
 &\quad n1=3) + (3 \times \sum \text{Probabilitas } n1=4)) \\
 &= (1 \times 0.283864) + (2 \times 0.286688) + (3 \times 0.145718) \\
 &= 1.29439 = 1 \text{ Dump Truck}
 \end{aligned}$$

$n_3 > 1$	Probabilitas	Σ Probabilitas	L_{q3}
4	0.0000933	0.0000933	0.019963
3	0.000547627	0.00164777	
3	0.000586743		
3	0.0005134		
2	0.001411851	0.016387584	
2	0.001606372		
2	0.0036881		
2	0.003442226		
2	0.003227087		
2	0.003011948		

Perhitungan L_{q3} , merupakan antrian alat angkut saat akan menumpahkan material di disposal dengan syarat $n_3 > 1$

$$\begin{aligned}
 L_{q3} &= (1 \times \Sigma \text{Probabilitas } n_3=2) + (2 \times \Sigma \text{Probabilitas } n_3=3) + (3 \times \Sigma \text{Probabilitas } n_3=4) \\
 &= (1 \times 0.016387584) + (2 \times 0.00164777) + (3 \times 0.0000933) \\
 &= 0.019963 = 1 \text{ Dump Truck}
 \end{aligned}$$

n1=0	Probabilitas	∑ Probabilitas	η1	Θ	Wq1	Wq3
0	0.00355904	0.094957545	0.9050446	12.6706244	0.102156765	0.00157554
0	0.0000933					
0	0.004607314					
0	0.002588393					
0	0.015185238					
0	0.0005134					
0	0.00314135					
0	0.017277426					
0	0.001411851					
0	0.024296381					
0	0.001606372					
0	0.008282857					
0	0.008835048					
0	0.003011948					
0	0.000547627					

Perhitungan Wq1, merupakan waktu tunggu alat angkut saat akan dimuat oleh alat gali muat, terlebih dahulu perlu diketahui tingkat kesibukan alat gali muat (η1) dengan n1=0

$$Wq1 = \frac{Lq1}{\theta}$$

Untuk mendapatkan nilai θ, terlebih dahulu mencari nilai η1

$$\begin{aligned} \eta1 &= 1 - \sum \text{Probabilitas } n1 = 0 \\ &= 1 - 0.094957545 \\ &= 0.9050446 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \Theta &= \eta1 \times \mu1 \\ &= 0.9050446 \times 14 \\ &= 12.6706244 \text{ Truck/jam} \end{aligned}$$

Maka didapatkan nilai

$$Wq1 = \frac{Lq1}{\theta} = \frac{1.29439 \text{ Truck/jam}}{12.6706244 \text{ Truck/jam}} = 0.102156765 = 6.13 \text{ menit}$$

Perhitungan Wq3

$$Wq3 = \frac{Lq3}{\theta} = \frac{0.019963 \text{ Truck/jam}}{12.6706244 \text{ Truck/Jam}} = 0.00157554 = 0.094 \text{ menit}$$

Lampiran 14. Perhitungan Kebutuhan *Dump Truck* Pada Kegiatan Pengupasan Overburden

Berdasarkan penerapan metode antrian, maka total waktu edar alat angkut dapat dihitung seperti berikut:

$$CT \text{ Total} = \frac{1}{\mu_1} + \frac{1}{\mu_2} + \frac{1}{\mu_3} + \frac{1}{\mu_4} + Wq_1 + Wq_3$$

$$CT \text{ Total} = \frac{1}{14} + \frac{1}{15} + \frac{1}{88} + \frac{1}{16} + 0.102156765 + 0.00157554$$

$$= 0.315691179$$

$$= 18.93 \text{ menit}$$

Sehingga tingkat kedatangan truck di front adalah sebagai berikut:

$$\lambda = \frac{1}{ct} = \frac{1}{0.315691179} = 3.167652651 = 3 \text{ truck/jam}$$

Dan jumlah truck yang dibutuhkan dapat dihitung seperti berikut ini:

$$N = \frac{\mu_1}{\lambda} = \frac{14}{3} = 5 \text{ truck}$$

