ANALISIS PRODUKTIVITAS ALAT MEKANIS PADA PROSES *OVERBURDEN REMOVAL* PT. MARUCO INDONESIA BERDASARKAN PERHITUNGAN KAPASITAS PRODUKSI DAN TEORI ANTRIAN

TUGAS AKHIR

Diajukan Sebagai Salah Satu Syarat Untuk Memperoleh Gelar Sarjana Strata-1
Program Studi Teknik Industri - Fakultas Teknologi Industri
Universitas Islam Indonesia

Nama : M. Zikra Zizo Alfieta
No. Mahasiswa : 20522369

PROGRAM STUDI TEKNIK INDUSTRI PROGRAM SARJANA
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA
YOGYAKARTA
2025

PERNYATAAN KEASLIAN

Demi Allah, saya akui bahwa karya ini adalah hasil karya saya sendiri kecuali kutipan dan ringkasan yang setiap salah satunya telah saya jelaskan sumbernya. Jika dikemudian hari ternyata terbukti pengakuan saya ini tidak benar dan melanggar peraturan yang sah dalam karya tulis dan berhak kekayaan intelektual maka saya bersedia ijazah yang telah saya terima untuk ditarik kembali oleh Universitas Islam Indonesia.

Yogyakarta, 10 Desember 2024



M Zikra Zizo Alfieta

20522369

SURAT BUKTI PENELITIAN

PT Maruco Indonesia

PT. MARUCO INDONESIA

Muara Bakah, Lahei, Kabupaten Barito Utara, Kalimantan Selatan, Indonesia
Phone: (+62) 21-59497825 Fax: (+62) 21-59497832

SURAT KETERANGAN MAGANG

NOMOR 002/ HRD/2024

Yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama : Slamet

Jabatan : HRD

Alamat : Muara Bakah, Lahei, Kabupaten Barito Utara, Kalimantan Selatan

Dengan ini menyatakan bahwa:

Nama : M Zikra Zizo Alfieta

NIM : 20522369

Asal : Universitas Islam Indonesia

Mahasiswa diatas telah melaksanakan dan menyelesaikan magang di pada tanggal 22 Januari 2024 sampai dengan 22 Maret 2024 di PT. Maruco Indonesia. yang bersangkutan sudah belajar mengenai proses pertambangan batu bara, kajian teknis pertambangan dan pengamatan pasca penambangan. Dengan keluarnya surat ini, menyatakan bahwa mahasiswa diatas sudah menjalankan tugasnya dengan baik.

Demikian surat keterangan magang dibuat untuk dipergunakan sebagaimana mestinya.

Muara Teweh, 23 Maret 2024

Slamet

HRD PT. Maruco Indonesia

LEMBAR PENGESAHAN PEMBIMBING

ANALISIS PRODUKTIVITAS ALAT MEKANIS PADA PROSES *OVERBURDEN REMOVAL* PT. MARUCO INDONESIA BERDASARKAN PERHITUNGAN KAPASITAS PRODUKSI DAN TEORI ANTRIAN

TUGAS AKHIR

Disusun Oleh :

Nama : M. Zikra Zizo Alfieta

No. Mahasiswa : 20522369

Yogyakarta, 10 Desember 2024

Dosen Pembimbing



(Danang Setiawan, S.T., M.T.)

LEMBAR PENGESAHAN DOSEN PENGUJI

ANALISIS PRODUKTIVITAS ALAT MEKANIS PADA PROSES *OVERBURDEN REMOVAL* PT. MARUCO INDONESIA BERDASARKAN PERHITUNGAN KAPASITAS PRODUKSI DAN TEORI ANTRIAN

TUGAS AKHIR

Disusun Oleh :

Nama : M Zikra Zizo Alfieta

No. Mahasiswa : 20522369

Telah dipertahankan di depan sidang penguji sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Strata-1 Teknik Industri Fakultas Teknologi Industri Universitas Islam Indonesia

Yogyakarta, 26 Desember 2024

Tim Penguji

Danang Setiawan, S.T., M.T. Dosen Pembimbing	
Yuli Agusti Rochman, S.T., M.Eng. Anggota I	26/2/2025
Wahyudhi Sutrisno, S.T., M.M., M.T Anggota II	**210225**

Mengetahui,
Ketua Program Studi Teknik Industri Program Sarjana
Fakultas Teknologi Industri
Universitas Islam Indonesia

Ir. Muhammad Ridwan Andi Purnomo S.T.,M.SC.,Ph.D.,IPM.
NIK. 015220101

HALAMAN PERSEMBAHAN

Tugas akhir ini penulis persembahkan kepada Orang tua dan keluarga, terutama kepada Bunda,
Tugas akhir ini penulis mulai dan selesaikan karena didedikasikan untukmu.

MOTTO

“Tuhanmu tidak meninggalkanmu dan tidak pula membencimu”

(Q.S Ad-Dhuha;3)

“Hidup bukan saling mendahului, bermimpilah sendiri-sendiri”

(Hindia - Besok mungkin kita sampai)

“Karena kau menulis. Suaramu tidak akan padam ditelan angin, akan abadi, sampai jauh, jauh di kemudian hari”

(Anak Semua Bangsa - Pramoedya Ananta Toer)

KATA PENGANTAR

Bismillahirrahmanirrahim
Assalamu'alaikum Warahmatullahi Wabarakatuh
Segala puji dan syukur penulis panjatkan atas kehadirat Allah SWT, yang telah melimpahkan rahmat dan karunia-NYA, sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir ini dengan baik. Shalawat serta salam tidak lupa penulis panjatkan kepada Nabi besar Muhammad SAW yang telah menuntun umat manusia pada jalan kebenaran.

Tugas Akhir ini dikerjakan sebagai salah satu syarat kelulusan pada Program StudiStrata1 di Jurusan Teknik Industri, Fakultas Teknologi Industri, Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta. Dengan judul "Analisis Produktivitas Alat Mekanis Pada Proses Overburden Removal PT Maruco Indonesia Berdasarkan Perhitungan Kapasitas Produksi dan Teori Antrian " . penulis berharap karya ini bermanfaat tidak hanya bagi dirinya, namun juga bagi pembaca, Universitas Islam Indonesia, khususnya di Program Studi Teknik Industri, dan juga PT. Maruco Indonesia. Pada kesempatan ini, penulis ingin menyampaikan ucapan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada semua pihak yang turut membantu dan mendukung di dalam penyusunan laporan Tugas Akhir ini, Terutama kepada:

1. Bapak Prof. Dr. Hari Purnomo, M.T., IPU., ASEAN Eng., selaku Dekan Fakultas Teknologi Industri, Universitas Islam Indonesia
2. Bapak Ir. Muhammad Ridwan Andi Purnomo, S.T., M.Sc., Ph.D., IPM., selaku Ketua Program Studi Teknik Industri Program Sarjana, Universitas Islam Indonesia.
3. Bapak Danang Setiawan S.T., M.T selaku Dosen pembimbing Tugas Akhir yang telah membimbing, memberikan kesempatan, dan membagikan ilmu yang berguna kepada penulis sehingga dapat menyelesaikan Tugas Akhir dengan baik.
4. Bapak Slamet selaku HRD PT. Maruco Indonesia yang telah memberikan kesempatan untuk belajar dan mendapatkan pengalaman yang berharga
5. Bapak Husni, Bapak Anca, Mas Rivaldo, Mas jalil, selaku mentor yang telah membimbing penulis dan membantu selama magang di PT. Maruco Indonesia
6. Kedua orang tua saya, Ayah Alfirdaus dan Ibunda Novita Indra, Terima kasih telah mendorong penulis dan percaya kepada penulis untuk menyelesaikan proses perkuliahan dan terima kasih atas doa yang tak henti dipanjatkan sehingga penulis bisa menyelesaikan Tugas Akhir dengan baik
7. Kedua Adik saya Abhitah Gavrilla dan Bilfaqih Rey Altheza yang selalu menjadi alasan penulis untuk terus maju dan menjadi lebih baik.
8. Kepada Gentan States, Alifian, Arya, Fahril, Fajar, Fikri, Hawada, Rahino ,Rahmat, Nafis, Naufal, dan Wena yang selalu membuat penulis tertawa, menghibur penulis serta membantu penulis baik secara moral dan material
9. Fauzan Mahardika yang telah menjadi partner penulis selama menjalani magang
10. Seluruh teman-teman angkatan 2020 teknik industri Universitas Islam Indonesia.
11. Semua pihak yang turut membantu dalam penulisan laporan yang luput saya sebutkan dan tidak dapat disebutkan satu per satu

Wassalamualaikum Warahmatullahi Wabarakatuh

Yogyakarta, 6 Desember 2024



M Zikra Zizo Alfieta
NIM 20522369

ABSTRAK

Produktivitas merupakan hal yang sangat krusial pada sektor pertambangan, terutama produktivitas alat mekanis dalam proses pengupasan *overburden* di PT. Maruco Indonesia. Pada tahun sebelumnya target produksi yang ditetapkan oleh perusahaan tidak tercapai sebanyak 23,71% maka hal ini menunjukkan bahwa produktivitas yang kurang baik pada pemanfaatan alat mekanis di perusahaan. Penelitian ini dilakukan untuk menganalisis dan melakukan evaluasi pada produktivitas alat mekanis yang digunakan pada proses pertambangan di PT. Maruco Indonesia. Analisis dilakukan dengan menggunakan perhitungan produktivitas, perhitungan kapasitas produksi dan metode antrian yang memerlukan data *Cycle time,* jumlah unit masing-masing alat mekanis, aliran proses yang harus dilalui kedua alat mekanis untuk menjalankan 1 siklus, jam kerja operasional, *bank density material* atau massa jenis material yang diangkut. Perhitungan produktivitas menunjukkan bahwa alat mekanis yang menjadi objek penelitian ini adalah alat mekanis berupa excavator dan *dump truk* memiliki tingkat keserasian atau *match factor* sebesar 74%. Hal ini menunjukkan bahwa excavator mengalami waktu *idle* yang signifikan saat menunggu *dump truck* sampai pada *loading point*. Untuk meningkatkan produktivitas dan *match factor* tersebut digunakan Metode kapasitas produksi dan teori antrian. Hasil dari penelitian ini menunjukkan penerapan teori antrian berbasis disiplin pelayanan *First Come, First Served* (FCFS) dan pengurangan waktu *idle* dengan melakukan penjadwalan kedatangan dan keberangkatan pada *loading point* berhasil meningkatkan produktivitas produksi perusahaan dan meningkatkan keserasian kerja antara alat mekanis. Sehingga perusahaan dapat mengambil langkah yang tepat untuk meningkatkan produktivitas.

Kata Kunci: Produktivitas, *cycle time, match factor,* teori antrian, pengupasan *overburden*

DAFTAR ISI

PERNYATAAN KEASLIAN ..... **ii**
SURAT BUKTI PENELITIAN ..... **iii**
LEMBAR PENGESAHAN PEMBIMBING ..... **iv**
LEMBAR PENGESAHAN DOSEN PENGUJI ..... **v**
HALAMAN PERSEMBAHAN ..... **vi**
MOTTO ..... **vii**
KATA PENGANTAR ..... **viii**
ABSTRAK ..... **ix**
DAFTAR ISI ..... **x**
DAFTAR TABEL ..... **xii**
DAFTAR GAMBAR ..... **xiii**
BAB I PENDAHULUAN **1**
1.1 Latar Belakang 1
1.2 Rumusan Masalah 4
1.3 Tujuan Penelitian 4
1.4 Manfaat Penelitian 5
1.5 Batasan Penelitian 5
1.6 Sistematika Penelitian 5
BAB II TINJAUAN PUSTAKA **7**
2.1 Landasan Teori 7
2.1.1 Proses Penambangan Batu bara **7**
2.1.2 Produktivitas dan efisiensi kerja **9**
2.1.3 Overburden **10**
2.1.4 Alat Muat dan Alat Angkut **10**
2.1.5 Cycle time dan match factor **11**
2.1.6 Teori Antrian **12**
2.2 Penelitian Terdahulu 14
BAB III METODE PENELITIAN **18**
3.1 Objek penelitian 18
3.2 Jenis dan sumber data 18
3.3 Metode pengumpulan data 18
3.4 Alur penelitian 20
BAB IV PENGUMPULAN DAN PENGOLAHAN DATA **26**
4.1 Pengumpulan Data 26
4.2 Pengolahan Data 33
BAB V PEMBAHASAN **44**
BAB VI PENUTUP **60**
6.1 Kesimpulan 60
6.2 Saran 60
DAFTAR PUSTAKA **62**
LAMPIRAN **B-1**

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 *State of the art* 16
Tabel 4. 1 Kapasitas alat mekanis pada pengupasan *overburden* 26
Tabel 4. 2 Waktu Jam Kerja 27
Tabel 4. 3 Distribusi waktu hambatan alat gali muat dan angkut 28
Tabel 4. 4 Waktu siklus excavator aktual 29
Tabel 4. 5 Data waktu siklus excavator 29
Tabel 4. 6 Rekapitulasi hasil perhitungan efesiensi kerja aktual 35
Tabel 4. 7 Perhitungan waktu siklus excavator aktual 35
Tabel 4. 8 Data perhitungan tingkat pelayanan 40
Tabel 4. 9 Perhitungan koefisiensi dan probabilitas setiap keadaan 40
Tabel 4. 10 Perhitungan Lq1 41
Tabel 4. 11 Perhitungan Lq3 41
Tabel 4. 12 Perhitungan Wq1 42
Tabel 5. 1 Kemampuan produksi alat 48
Tabel 5. 2 Hasil perhitungan tingkat pelayanan 51
Tabel 5. 3 Hasil perhitungan Lq 52
Tabel 5. 4 Hasil perhitungan Wq 52
Tabel 5. 5 Kapasitas produksi setelah penjadwalan 56

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. 1 Volume produksi Batu Bara berdasarkan pemanfaatan pada tahun 2022-2023 ... 1
Gambar 1. 2 Alur proses penambangan batu bara 2
Gambar 1. 3 Perbandingan target dan aktual produksi tahun 2023 3
Gambar 2. 1 Open pit mining..... 8
Gambar 2. 2 Alur proses penambangan batu bara 8
Gambar 2. 3 Excavator Komatsu PC 400 11
Gambar 2. 4 *Dump truck* Hino 500 euro 4..... 11
Gambar 2. 5 Sistem antrian alat muat dan *dump truck* 13
Gambar 3. 1 Alur penelitian..... 20
Gambar 5. 1 Diagram perbandingan efesiensi kerja 44
Gambar 5. 2 Perbandingan *Cycle time* alat mekanis..... 46
Gambar 5. 3 *Match factor* 47
Gambar 5. 4 Perbandingan produksi *dump truck*..... 53
Gambar 5. 5 Simulasi penjadwalan ideal dengan *gantt chart*pada proses pengupasan *overburden* 55
Gambar 5. 6 Perbandingan kapasitas produksi sebelum dan sesudah penjadwalan 57
Gambar 5. 7 Perbandingan *match factor* setelah penambahan 58
Gambar 5. 8 Perbandingan produksi 4 DT dan 5 DT..... 58

BAB I
PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Industri pertambangan batu bara memiliki peran penting dalam perekonomian Indonesia sebagai salah satu penyumbang devisa terbesar negara dan salah satu produsen dan eksportir batu bara terbesar didunia(Magdalena et al., 2023). Berdasarkan informasi yang disampaikan oleh Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral Indonesia, cadangan batu bara Indonesia diperkirakan habis kira-kira dalam 83 tahun mendatang apabila tingkat produksi saat ini terus dilakukan. Cadangan batu bara total Indonesia sekitar 60 persen terdiri dari batu bara kualitas rendah yang memiliki kandungan kurang dari 6.100 kal/gram. Dengan demikian, jenis batu bara ini dipasarkan dengan harga yang kompetitif di pasar internasional. Oleh karena itu volume produksi batu bara Indonesia mengalami *trend* peningkatan setiap tahunnya. Pada Gambar 1.1 di bawah ini merupakan data volume produksi batu bara Indonesia berdasarkan pemanfaatannya pada tahun 2022-2023.

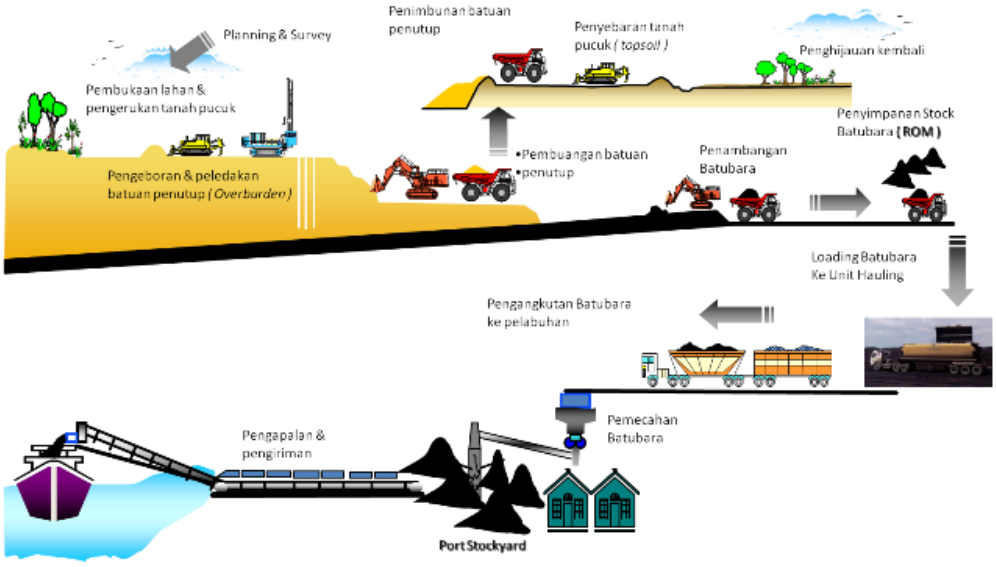


Gambar 1. 1 Volume produksi batu bara berdasarkan pemanfaatan pada tahun 2022-2023

Kementerian ESDM melaporkan bahwa kebutuhan batu bara dalam negeri lebih sedikit dibandingkan dengan kebutuhan untuk ekspor, dan sepanjang tahun 2023 realisasi produksi batu bara Indonesia mencapai 77 juta ton angka tersebut naik sebesar 12,8% dibanding dengan tahun 2022 sekaligus menjadi rekor produksi tertinggi baru. oleh karena itu muncul suatu tantangan baru untuk memenuhi produksi pada tahun selanjutnya, salah satunya adalah dengan meningkatkan fasilitas dan produktivitas.

PT. Maruco Indonesia merupakan perusahaan pertambangan yang terletak di kabupaten Muara Teweh, Provinsi Kalimantan Tengah. Metode penambangan yang ditetapkan oleh PT.

Maruco Indonesia adalah sistem tambang terbuka atau *open pit Mining*. Proses penambangan batu bara dengan metode tambang terbuka memerlukan rangkaian proses yang sistematis, terencana dan berurutan. Alur proses penambangan batu bara dapat dilihat dari Gambar 1.2 berikut.



Gambar 1. 2 Alur proses penambangan batu bara

Sumber: Academia.edu

PT. Maruco Indonesia memulai proses penambangan dengan mengupas *top soil* (tanah pucuk), *Overburden* (tanah penutup), dan pengambilan *coal* (batu bara), menggunakan alat gali muat *excavator* Komatsu PC 400 dengan kapasitas *bucket* 3,2 m3, sedangkan alat angkut yang digunakan *dump truck* Hino 500 Euro 4 dengan kapasitas 21 ton. salah satu faktor yang menunjang keberhasilan kegiatan penambangan yang dilakukan dan yang paling krusial adalah proses produksi.

Proses produksi bertujuan untuk menghasilkan atau mengambil suatu bahan galian. ada dua kegiatan operasi produksi pada saat berada di lapangan yaitu *overburden* serta produksi batu bara di mana pada kegiatan penambangannya menggunakan peralatan mekanis. Dalam penambangan peralatan mekanis begitu penting demi keberhasilan dari suatu kegiatan pertambangan, dikarenakan hal tersebut perhitungan harus dilakukan dengan tepat agar kemampuan unit dapat digunakan secara optimal.

Overburden adalah tanah atau material yang ada di permukaan. Pengupasan *overburden* ini merupakan pekerjaan awal dalam operasi penambangan serta menjadi aktivitas kritis yang mempengaruhi keseluruhan kinerja operasional tambang karena 60% biaya operasional tambang terbuka (*open mining*) dialokasikan untuk aktivitas ini(Sa Putra et al., 2023). Efisiensi

pengupasan *overburden* sangat bergantung kepada kinerja alat gali muat dan alat angkut sebagai komponen utama dalam pemindahan material. Sangat penting untuk mengetahui teknik untuk melakukan pemindahan *overburden* agar meminimalisir adanya faktor tidak terduga yang menyebabkan tidak tercapainya target produksi, dan pemindahan *overburden* atau tanah mekanis yang buruk juga berdampak pada penjadwalan produksi pertambangan, periode waktu suatu pertambangan.

Penelitian yang dilakukan pada PT. Maruco Indonesia menunjukkan produksi pengupasan *overburden* yang dilakukan belum maksimal ini dapat dilihat dari target produksi yang tidak tercapai selama tahun 2023



Gambar 1. 3 Perbandingan target dan aktual produksi tahun 2023

Berdasarkan Gambar 1.2 perbandingan target dan aktual produksi *overburden* pada periode tahun 2023 belum maksimal dikarenakan terdapat kekurangan 2.300.000 bcm/ *Bank cubic meter* atau 19,17% target produksi *overbuden* yang belum terpenuhi, hal tersebut memperlihatkan adanya produktivitas pada proses produksi yang tidak optimal pada alat mekanis yaitu excavator dan *dump truck* selain itu hal yang mempengaruhi produktivitas dan produksi dari alat mekanis dapat berupa waktu siklus atau c*ycle time* dari alat mekanis yang terlalu lama, kondisi lapangan, jarak tempuh, cuaca dan tingkat pemeliharaan alat. semua faktor tersebut berpotensi menyebabkan siklus waktu yang lebih lama dari yang ideal sehingga menciptakan inefisiensi seperti waktu tunggu atau *idle time* pada saat proses pertambangan dilakukan.

Penelitian ini bertujuan untuk menghitung produktivitas pada proses pertambangan pada setiap alat mekanis dengan menilai efisiensi kerja, keserasian kerja dari alat mekanis serta menggunakan ,metode kapasitas produksi berdasarkan dari data perhitungan produktivitas alat

gali muat dan alat angkut. Selain itu dalam penelitian ini digunakan metode antrian atau teori antrian yang melibatkan *cycle time* maing-masing alat mekanis yang ada dikegiatan pengupasan *overburden,* akan dilakukan analisis dan kajian rendahnya produktivitas yang disebabkan adanya antrian pada proses pelayanan di *loading point*. Hasil analisis akan menghasilkan jumlah alat angkut yang ideal untuk dilayani oleh alat mekanis untuk mencapai produktivitas yang baik. Perhitungan produktivitas, metode kapasitas produksi dan teori antrian yang dilakukan dapat digunakan sebagai acuan untuk membuat penjadwalan kedatangan dan keberangkatan alat gali dan alat muat di *loading point*.

1.2 Rumusan Masalah

Permasalahan yang telah diuraikan pada Latar belakang sebelumnya membutuhkan perhitungan serta analisis penyebab kurangnya produktivitas yang ada pada perusahaan sehingga dapat dirumuskan suatu kebijakan untuk menambah produktivitas yang ada dengan menggunakan perhitungan produktivitas dan efisiensi, c*ycle time* dari setiap alat mekanis dan keserasian kerja (*match factor)* untuk mengoptimalkan penggunaan alat mekanis pada proses pengupasan *overburden*. perhitungan kapasitas produksi dan teori antrian untuk menentukan kebutuhan alat yang optimal sehingga dapat membantu mengatasi masalah dengan sistematis dan komprehensif, Berikut merupakan rumusan masalah yang ada dari uraian di atas:

1. Apakah produktivitas dan *match factor* alat mekanis dalam proses *overburden removal* di PT Maruco Indonesia sudah efektif?
2. Apakah jumlah alat mekanis yang digunakan oleh perusahaan sudah optimal berdasarkan perhitungan metode kapasitas produksi dan teori antrian?
3. Bagaimana rekomendasi yang tepat untuk meningkatkan produktivitas alat mekanis?

1.3 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan penelitian yang dilakukan adalah sebagai berikut:

1. Mengetahui produktivitas dan *match factor* alat mekanis dalam proses *overburden removal* apakah telah mencapai tingkat efektivitas yang optimal
2. Mengetahui *Cycle time, match factor* alat mekanis muat dan alat angkut yang tepat berdasarkan perhitungan kapasitas produksi dan teori antrian
3. Menganalisis bagaimana pengaruh penerapan teori antrian terhadap produktivitas alat angkut pada proses pengupasan *overburden*

1.4 Manfaat Penelitian

Manfaat yang diharapkan dapat diberikan dari hasil penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Bagi Perusahaan

   Dapat memberikan solusi alternatif mengenai permasalahan produktivitas yang terjadi pada alat muat dan alat angkut pada area pertambangan sebagai bahan pertimbangan dalam pengambilan keputusan.

2. Bagi peneliti

   Mampu mengimplementasikan keilmuan teknik industri yang telah diperoleh selama perkuliahan sebagai pemberi solusi yang terjadi pada masalah yang ada serta menambah wawasan mengenai proses pertambangan, faktor produktivitas yang mempengaruhi pertambangan dan efisiensi penggunaan bahan bakar yang efisien.

1.5 Batasan Penelitian

Dalam batasan masalah ini perlu ditetapkan beberapa batasan dengan tujuan agar target yang ingin dicapai pada penelitian ini dapat berjalan dengan tepat dan tidak menyimpang dari target yang hendak dicapai, adapun batasan tersebut diantara-Nya adalah:

1. Penelitian dilakukan pada pit PT. Maruco Indonesia yang berada di kabupaten Muara Teweh, Kalimantan Tengah.
2. Objek penelitian adalah *excavator* Komatsu PC 400 sebagai alat Muat dan Hino Euro 4 500 sebagai alat angkut penggalian *overburden*.
3. Perhitungan produktivitas pada proses *overburden* berfokus pada perhitungan aktual dan teoritis
4. Penelitian ini tidak melakukan perhitungan biaya produksi.

1.6 Sistematika Penelitian

Berikut ini adalah sistematika penulisan laporan tugas akhir agar penulis dapat menyelesaikan laporan dengan terstruktur:

BAB 1 PENDAHULUAN

Bab 1 berisikan latar belakang penelitian, rumusan masalah, ruang lingkup atau batasan masalah, tujuan dan manfaat penelitian, batasan masalah, serta sistematika penulisan

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Bab 2 berisikan tentang teori-teori pendukung yang digunakan sebagai acuan yang ada pada penelitian ini dengan berdasarkan literatur penelitian-penelitian terdahulu

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

Bab 3 pada penelitian ini membahas terkait objek penelitian, kerangka pemikiran penelitian, dan juga langkah-langkah penelitian yang dimulai dengan observasi pada proses pertambangan di PT. Maruco Indonesia. Bab ini juga membahas jenis data yang digunakan dan metode pengolahan data yang digunakan.

BAB IV PENGOLAHAN DATA DAN HASIL PENELITIAN atau PEMBANGUNAN SISTEM

Pada bab 4 membahas terkait pengumpulan dan pengolahan data yang telah diperoleh dari hasil observasi. Pengolahan data tersebut menggunakan beberapa metode yaitu perhitungan produktivitas dan *match factor*, metode kapasitas produksi untuk mengetahui kapasitas produksi pada tiap alat mekanis dan teori antrian untuk meminimalisir waktu Antri dan menentukan jumlah kebutuhan alat optimal untuk meningkatkan produktivitas

BAB V PEMBAHASAN atau PENGUJIAN SISTEM DAN PEMBAHASAN

Bab 5 pada laporan ini memuat pembahasan hasil pengolahan data yang telah dilakukan sebelumnya. Bab ini membahas berdasarkan rumusan masalah dan tujuan yang telah ditetapkan sehingga pembahasan dapat berfokus pada rumusan dan tujuan penelitian dan tidak membahas topik lainnya

BAB VI KESIMPULAN DAN SARAN

Bab 6 membahas kesimpulan dari analisis serta pembahasan yang telah dilakukan pada bab sebelumnya. Kesimpulan ini menjawab tujuan penelitian yang disesuaikan dengan batasan masalah serta membahas terkait saran yang diberikan penulis untuk penelitian selanjutnya

DAFTAR PUSTAKA

Berisikan keseluruhan sumber yang digunakan sebagai penunjang pada penelitian ini

LAMPIRAN

Berisikan dokumentasi-dokumentasi yang diambil selama penelitian dilakukan

BAB II
TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Landasan Teori

Landasan teori merupakan sekumpulan teori yang digunakan untuk menyelesaikan permasalahan yang ada. Berikut ini merupakan teori – teori yang digunakan pada penelitian ini:

2.1.1 Proses Penambangan Batu bara

Menurut Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral Republik Indonesia siaran pers Nomor 508.pers/04/SJI/2023. Aktivitas penambangan ialah proses ekstraksi dan pengolahan mineral, logam, batu bara dan sumber daya alam lainnya dari bawah permukaan bumi atau dari sumber daya alam terbuka seperti tambang terbuka. Kegiatan penambangan ini adalah suatu kegiatan yang kompleks karena keterkaitan antara satu rangkaian dengan yang lainnya(Ernawati & Hadi, 2019)

Pertambangan batu bara adalah pertambangan endapan karbon yang terdapat di dalam bumi.Industri ini berfungsi sebagai hulu untuk menghasilkan sumber daya mineral dan bahan baku untuk industri hilir yang dibutuhkan oleh orang-orang di seluruh dunia.. (Indra Nuryanneti et al., 2024). batu bara merupakan Bahan bakar fosil biasanya didefinisikan sebagai batuan sedimen yang dapat terbakar yang dibuat dari endapan organik, terutama sisa tumbuhan, dan dihasilkan melalui proses pembatu baraan. Komponen utamanya adalah karbon, hidrogen, dan oksigen. (Irfandy, Triantoro, & Melati, 2021). Proses penambangan batu bara saat ini mencakup penyelidikan umum, eksplorasi, studi kelayakan, konstruksi, penambangan, pengolahan dan pemurnian, pengangkutan dan penjualan, dan kegiatan setelah penambangan. Namun yang paling penting adalah proses penambangan itu sendiri yaitu penggalian, pemuatan, dan pengangkutan. Tiga kegiatan ini saling berhubungan baik ada sektor mineral maupun batu bara. Ketiga kegiatan tersebut biasanya dinamakan dengan pemindahan tanah mekanis(Gievani Wahono et al., n.d.).

Pada proses penambangan batu bara terdapat beberapa metode yang umum digunakan Perusahaan yaitu *Open pit mining,underground mining,strip mining,* dan *longwall mining(Bakhtavar et al., 2009)* namun metode yang banyak dijumpai di Indonesia adalah *open pit mining* yang merupakan metode penambangan di permukaan dengan membentuk lubang tambang terbuka yang dilakukan dengan mengupas lapisan tanah/batuan penutup(*overburden*)

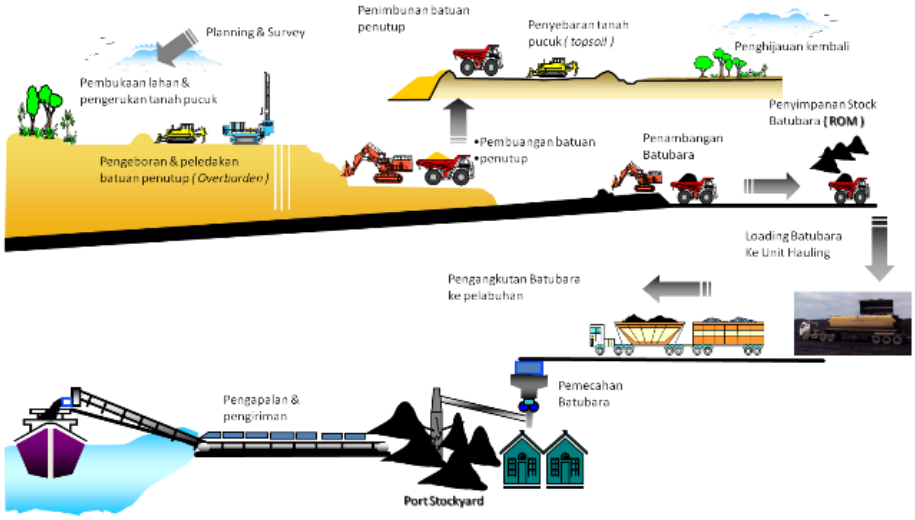
untuk mengakses bahan galian di bawahnya dan cocok untuk cadangan bahan galian yang dekat dengan permukaan berbentuk lapisan horizontal



Gambar 2. 1 *Open pit mining*

Sumber: (Maskuriah, 2018)

Sedangkan alur proses penambangan batu bara jika dilihat dari awal hingga akhir adalah sebagai berikut:



Gambar 2. 2 Alur proses penambangan batu bara

Sumber: (Zhafiraah, 2018)

1. Perencanaan dan survei: tahap awal yang melibatkan pengumpulan data, analisis, dan perencanaan kegiatan penambangan.

2. Pembuangan tanah pucuk (*topsoi*l) tanah bagian atas yang subur dipisahkan dan disimpan untuk digunakan kembali dalam proses reklamasi.
3. Pengeboran dan peledakan batuan penutup (*overburden*) yang dihancurkan menggunakan bahan peledak untuk memudahkan penggalian.
4. Pengangkatan batuan penutup batuan hasil peledakan diangkut ke tempat penimbunan sementara.
5. Penggalian batu bara yang telah terbuka digali menggunakan alat berat seperti excavator.
6. Pengangkutan Batu Bara yang telah digali diangkut ke tempat penimbunan sementara atau langsung ke fasilitas pengolahan.
7. Pengolahan batu bara yang masih mengandung kotoran dibersihkan dan dipecah menjadi ukuran yang lebih kecil.
8. Pengangkutan batu bara yang telah diolah diangkut ke pelabuhan untuk dimuat ke kapal.
9. Pengapalan dan pengiriman batu bara ke konsumen melalui jalur laut.

2.1.2 Produktivitas dan efisiensi kerja

Produktivitas merupakan perbandingan hasil yang dicapai atau output dengan seluruhan sumber daya yang diperlukan atau *input* (Wahyuni, 2017). Dalam proses pertambangan produktivitas menjadi sangat penting terutama pada produktivitas alat mekanis atau alat berat karena produktivitas alat mekanis yang tinggi dapat memberikan banyak keuntungan dalam pelaksanaan pertambangan dan jika produktivitas rendah maka keuntungan yang didapatkan oleh Perusahaan juga akan berkurang(Handy Dwi Adityawan & Minmahddun, 2023). Selain itu produktivitas dikatakan penting untuk mempertahankan perusahaan, karena Perusahaan harus terus berkembang dan mempertahankan usahanya dengan salah satunya adalah pengukuran produktivitas kerja dan efisiensi kerja(Siagian et al., n.d.).

Menurut Tenrisukki (2003), produktivitas alat angkut dan muat dapat dibagi menjadi dua kategori: produktivitas alat mekanis dan produktivitas tenaga kerja. Produksi alat didefinisikan sebagai batas kemampuan alat untuk bekerja. hubungan antara sumber daya yang diinginkan, sumber daya yang tersedia, dan sumber daya yang dapat digunakan dan berdampak pada produktivitas sistem yang berat.

2.1.3 Overburden

Menurut Tenrisukki (2003), *Overburden* adalah lapisan tanah/bebatuan yang menutupi lapisan mineral berharga yang harus diambil terlebih dahulu agar bisa menggali material dibawah-nya. Pengkajian yang dilakukan terhadap situasi penggalian dan pemuatan dapat dilakukan melalui pengawasan situasi di dalam disiplin dan elemen yang mempengaruhi fungsi dari produksi alat mekanik yang ada. *Overburden* ini adalah material yang ada pada permukaan dan sifatnya dikatakan lepas. *Overburden* ini terdiri dari tiga jenis material yaitu *top soil, common soil,* dan *rock*. Pengupasan lapisan tanah ini merupakan langkah awal pada suatu operasi pertambangan.

Di lapangan lapisan tanah ini didasarkan dengan kondisi volume tanah yang dapat berubah yaitu:

a. Bank condition

Yaitu volume tanah yang belum digali atau diganggu oleh alat mekanis.

b. Loose condition

Adalah tanah setelah digali atau dibongkar dari tempat asalnya

c. Compacted condition

Volume tanah yang sudah di timbun atau dipadatkan seperti dijadikan jalan, dasaran *stockpile* dan sebagainya.

Pengupasan *overburden* menjadi pekerjaan awal dalam operasi penambangan agar dapat menghasilkan produksi batu bara. Aktivitas pemindahan dan pembuangan beban berlebih biasanya dilakukan bersamaan dengan penggalian jumlah beban berlebih yang dipindahkan dan laju penggaliannya terkait dengan produktivitas bijih yang dibutuhkan, morfologi dan geometri endapan bijih, dan efektivitas proses pembuangan di lokasi atau di luar lokasi yang pada prinsipnya harus menjadi metode paling hemat biaya dan secara teknis lebih baik(Mossa & James, 2013).

2.1.4 Alat Muat dan Alat Angkut

a. Alat Mekanis Excavator

Excavator adalah alat mekanis yang biasa digunakan di industri penambangan untuk menggali dan memuat material.



Gambar 2. 3 Excavator Komatsu PC 400

Alat gali jenis excavator ditempatkan di atas jenjang untuk melakukan penggalian. Setelah dipper penuh, dipper diangkat dan berayun ke arah truk yang dimaksud untuk dimuat. Dipper akan menumpahkan bebannya ke truk, juga dikenal sebagai dump truck.

b. Alat angkut

Material atau bahan galian dapat diangkut dengan menggunakan alat mekanis yang dikenal sebagai alat angkut. Dalam penelitian ini alat angkut adalah dump truk



Gambar 2. 4 *Dump truck* Hino 500 euro 4

Sumber: Hino.co.id

2.1.5 *Cycle time* dan match factor

Match factor merupakan faktor yang digunakan dalam kegiatan penambangan untuk menentukan tingkat keserasian kerja alat-alat berat yang dioperasikan dalam kegiatan

penambangan (Yastavia dan Yulhendra, 2020). Dalam pemindahan material, c*ycle time* adalah suatu siklus kegiatan yang dilakukan berulang. Pekerjaan utama di dalam kegiatan tersebut di antaranya adalah menggali, memuat, memindahkan, membongkar muatan dan kembali kepada kegiatan awal (Ernawati & Hadi, 2019)

Waktu siklus atau *cycle time* ini juga merupakan salah satu faktor yang berpengaruh dalam kemampuan produksi dari suatu alat. *Cycle time* ini dipengaruhi oleh beberapa hal seperti kemampuan alat dan kondisi jalan, jika semakin cepat waktu edar maka semakin besar produksi yang dihasilkan(Graselia Sahuleka & Sugito, 2022). Karena waktu edar akan menjadi variabel dalam menghitung jumlah rate yang dapat diselesaikan dalam satu jam, waktu edar mungkin sangat penting dalam mempengaruhi produksi kerja. Semakin singkat waktu edar, semakin banyak produktivitas yang dapat dihasilkan. (Indonesianto, 2011)

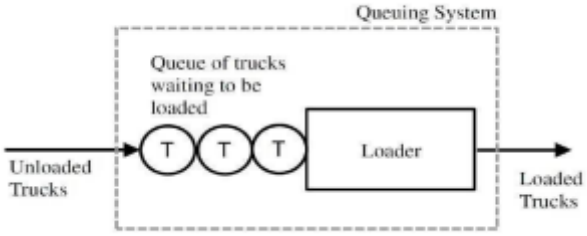
2.1.6 Teori Antrian

Teori antrian merupakan metode matematis yang digunakan untuk menganalisis dan memodelkan sistem antrian dalam berbagai bidang, termasuk dalam optimasi alat berat di industri pertambangan. Dalam konteks pertambangan, teori antrian diterapkan untuk menentukan jumlah alat angkut yang optimal, seperti *dump truck*, agar proses penggalian dan pengangkutan material dapat berjalan efisien tanpa menimbulkan waktu tunggu yang berlebihan. Disiplin pelayanan yang umum digunakan dalam operasi tambang adalah *First Come, First Served* (FCFS), di mana *dump truck* yang pertama kali tiba di area pemuatan akan dilayani terlebih dahulu oleh alat gali muat. Penerapan disiplin pelayanan ini, dikombinasikan dengan teori antrian, memungkinkan perhitungan probabilitas tingkat pelayanan dan jumlah alat optimal dalam satu siklus kerja, yang penting untuk mencegah penumpukan atau *idle* time pada alat gali muat atau alat angkut (Nugroho & Kartikasari, 2024)

Selain itu, teori antrian juga digunakan untuk memaksimalkan produktivitas alat dengan mempertimbangkan *cycle time* dan *match factor*. *Match factor* ini menjadi indikator kesesuaian antara alat gali muat, seperti excavator, dan alat angkut, yaitu *dump truck*, dengan tujuan mencapai keserasian kerja yang optimal. Disiplin pelayanan *FCFS* dalam teori antrian membantu memastikan bahwa setiap *dump truck* dilayani sesuai

urutan kedatangannya, mengurangi waktu tunggu dan mengoptimalkan pemanfaatan alat gali muat. Dalam beberapa penelitian, penggunaan teori antrian menunjukkan bahwa jumlah alat angkut yang tepat dapat mengurangi waktu *idle* pada alat gali, sehingga meningkatkan kapasitas produksi secara keseluruhan. Faktor-faktor seperti kecepatan rata-rata alat, kapasitas angkut, dan waktu pemuatan serta pembuangan juga menjadi variabel penting yang diperhitungkan dalam simulasi teori antrian

Metode ini menawarkan keuntungan untuk memodelkan skenario operasi yang kompleks di lapangan, di mana ketidakpastian sering kali terjadi karena berbagai faktor eksternal, seperti cuaca atau kondisi jalan. Dengan menggunakan teori antrian, perusahaan tambang dapat merencanakan distribusi alat angkut dan alat gali muat secara lebih efektif, sehingga meningkatkan efisiensi operasional dan mengurangi *bottleneck*. Pendekatan ini sangat membantu untuk menjaga nilai *match factor* mendekati satu, yang menunjukkan keserasian kerja ideal antara alat gali dan alat angkut. Ketika nilai *match factor* lebih rendah dari satu, maka terdapat alat yang tidak bekerja secara maksimal dan menunggu giliran, sehingga membutuhkan perbaikan dalam distribusi alat. Sebaliknya, *match factor* yang terlalu tinggi juga dapat menimbulkan kelebihan kapasitas pada alat angkut. Dengan mengatur disiplin pelayanan *FCFS*, setiap alat angkut yang tiba akan dilayani sesuai urutan, menghindari ketidakseimbangan. Oleh karena itu, teori antrian dan disiplin pelayanan berperan penting dalam pengambilan keputusan untuk mengoptimalkan produktivitas alat di area pertambangan.



Gambar 2. 5 Sistem antrian alat muat dan *dump truck*
Sumber: (Prasmoro & Hasibuan, 2018)

2.2 Penelitian Terdahulu

Berikut adalah penelitian terdahulu yang relevan dan mengacu pada topik skripsi Anda terkait optimalisasi produktivitas alat gali muat dan angkut menggunakan teori kapasitas produksi dan teori antrian:

1.Penelitian oleh Tenrisukki (2003) tentang Efisiensi Alat Gali Muat dan Angkut di Pertambangan batu bara

Fokus penelitian ini adalah pada optimalisasi produktivitas alat berat, terutama excavator dan *dump truck* dalam kegiatan pengangkutan *overburden*. Tenrisukki mengidentifikasi faktor-faktor yang mempengaruhi waktu siklus, termasuk kondisi medan dan keteraturan operasional, serta menggunakan rasio keserasian alat untuk menilai efisiensi kerja. Hasil penelitian menunjukkan bahwa keselarasan antara alat gali dan angkut meningkatkan efisiensi hingga 15%.

2. Penelitian Graselia Sahuleka dan Sugito (2022) mengenai Pengaruh Waktu Siklus terhadap Produktivitas Alat di Sektor Tambang

Sahuleka dan Sugito mengkaji dampak waktu siklus (*cycle time*) pada produktivitas alat berat di industri pertambangan. Penelitian ini menyoroti pentingnya waktu edar yang ideal untuk mengurangi *idle* time alat gali. Dengan menghitung siklus operasi, mereka menemukan bahwa pengurangan waktu siklus dapat meningkatkan produktivitas alat hingga 20%, yang signifikan dalam pengupasan *overburden*.

3. studi oleh Nugroho dan Kartikasari (2024) tentang Implementasi Teori Antrian untuk Optimalisasi Produktivitas *Dump truck* di Tambang Terbuka

Studi ini meneliti penggunaan teori antrian pada distribusi alat angkut di area *loading point* di tambang batu bara. Nugroho dan Kartikasari menemukan bahwa penerapan disiplin antrian First Come, First Served (FCFS) secara signifikan mengurangi waktu tunggu *dump truck* dan meningkatkan pemanfaatan excavator. Hasilnya menunjukkan bahwa antrian teratur membantu menyeimbangkan kinerja alat gali dan angkut, memaksimalkan produktivitas hingga mencapai *match factor* 90%.

4.Penelitian oleh Ernawati & Hadi (2019) tentang Optimasi Penggunaan Alat Mekanis di Tambang batu bara dengan Metode Kapasitas Produksi

Ernawati dan Hadi berfokus pada perhitungan kapasitas produksi untuk menentukan kebutuhan alat berat secara optimal. Mereka menerapkan metode kapasitas produksi untuk menghitung jumlah excavator dan *dump truck* yang ideal dalam mendukung target produksi perusahaan tambang. Penelitian ini menemukan bahwa penambahan alat angkut dapat mengurangi waktu *idle* alat gali hingga 30%, sehingga menghasilkan efisiensi yang lebih tinggi.

5. Studi Handy Dwi Adityawan & Minmahddun (2023) mengenai Produktivitas Alat Mekanis di Tambang Terbuka

Penelitian ini mengkaji hubungan antara produktivitas alat berat dan efisiensi kerja dalam operasional tambang terbuka. Adityawan dan Minmahddun mengidentifikasi bahwa pemanfaatan alat berat yang lebih optimal, khususnya excavator dan *dump truck*, berdampak langsung pada penurunan biaya dan peningkatan *output*. Studi mereka menggunakan data operasional untuk menghitung produktivitas dan menemukan bahwa efisiensi kerja meningkat sebesar 25% dengan optimalisasi waktu edar dan kapasitas produksi.

Penelitian-penelitian ini memberikan landasan teori yang relevan untuk mengeksplorasi lebih jauh penerapan antrian dan optimasi alat berat dalam meningkatkan produktivitas pada industri pertambangan, khususnya dalam kegiatan *overburden removal.*

Tabel 2. 1 *State of the art*

No	Penulis	Objek			Lokasi			Metode	
		Overburden	Produktivitas	*Match factor*	Pertambangan batu bara	Lainnya	Kapasitas produksi	Teori antrian	*Cycle time*
1	(Maiyudi & Suryanita, 2023)		√	√	√		√		√
2	(Andy EWijaya & Bayurohman Pangacella, 2020)	√	√	√	√		√		√
3	(Adha, 2023)		√	√		√	√		
4	(Rafif, 2024)	√	√		√				√
5	(Indra Nuryanneti, 2024)		√	√	√		√		√
6	(Mariki et al., 2021)	√	√	√	√		√		√
7	(Handy Dwi Adityawan & Minmahddun, 2023)		√			√	√		
8	(Nugroho, 2024)		√			√		√	
9	(Basuki & Oktavia, 2020)		√	√	√		√	√	√
10	(Lestari et al., 2019)	√	√		√			√	
11	(Yuni Octavia 2019.)		√			√		√	
12	(Putri et al., 2021)		√	√	√		√	√	
13	(Atika 2020.)		√	√		√	√		√
14	(Andriansyah & Wardono, 2023)		√		√				√
15	(Sarmidi et al., 2023)		√	√	√				√
	USULAN	√	√	√	√		√	√	√

Pada penelitian yang dilakukan oleh Maiyudi dan suryanita pada tahun 2023 yang meneliti tentang produktivitas pada tambang batu bara dengan metode kapasitas produksi dan perhitungan c*ycle time* serta *match factor*. Dari penelitian ini dengan pengoptimalan *match factor* untuk memaksimalkan produktivitas pada perusahaan terdapat 2 pilihan yaitu penambahan *dump truck* atau penambahan pengisian *bucket* pada *dump truck*. penambahan *dump truck* dan meminimalisir waktu tunggu ini juga disebutkan oleh penelitian yang dilakukan oleh dan Andy Wijaya & Bayurohman pada tahun 2020 yang mana nilai *match factor* sangat mempengaruhi produktivitas pada perusahaan serta penambahan isi *bucket* dan perbaikan *cycle time* bisa menjadi fokus utama perusahaan untuk meningkatkan produktivitas

BAB III
METODE PENELITIAN

3.1 Objek penelitian

Penelitian ini dilaksanakan di PT Maruco Indonesia. Fokus dari penelitian ini adalah menganalisis produktivitas dari alat gali dan alat muat yang ada pada proses *overburden* removal

3.2 Jenis dan sumber data

Jenis dan Sumber Data Jenis data yang digunakan pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Data primer
   Menurut Sugiyono (2016:225) data primer adalah sekumpulan data yang diperoleh dari sumber utama dengan melakukan pengamatan atau wawancara langsung ke lapangan.
2. Data sekunder
   Menurut Sugiyono (2016:225) data sekunder adalah sekumpulan data yang digunakan untuk melengkapi data primer yang diperoleh secara tidak langsung atau melalui media perantara.

3.3 Metode pengumpulan data

1. Studi Literatur

   Studi literatur dilakukan untuk memperoleh landasan teori yang mendukung penelitian ini. Sumber literatur meliputi jurnal ilmiah, buku, laporan teknis, dan dokumen lain yang relevan dengan teori antrian, produktivitas alat berat, serta analisis efisiensi kerja. Penelitian terdahulu ini akan digunakan sebagai referensi dalam memahami konsep dasar serta penerapan teori yang relevan untuk meningkatkan produktivitas alat gali muat dan angkut.
2. Observasi

   Observasi adalah metode pengumpulan data dengan cara mengamati langsung objek penelitian di lapangan. Observasi ini bertujuan untuk mengumpulkan data primer terkait operasi alat gali muat dan angkut, termasuk *cycle time*, waktu *standby*, waktu kerja efektif, serta efisiensi kerja alat. Pengamatan dilakukan secara sistematis di lokasi pertambangan untuk mencatat setiap aktivitas alat serta kondisi lapangan yang mempengaruhi kinerja alat. Observasi juga digunakan untuk melihat pola antrian pada alat angkut dengan metode

pelayanan *First Come, First Served* (FCFS), yang akan digunakan dalam perhitungan metode antrian untuk optimalisasi.

3. Wawancara

   Wawancara dilakukan sebagai teknik interaksi langsung antara peneliti dan narasumber untuk memperoleh informasi yang mendalam mengenai proses operasional dan faktor-faktor yang mempengaruhi produktivitas alat. Dalam penelitian ini, wawancara dilakukan dengan berbagai pihak yang terlibat dalam operasi tambang, yaitu:

   1) Operator Alat Muat dan Angkut: 2 orang

      Operator alat merupakan pihak yang memiliki pengalaman langsung dalam pengoperasian alat dan memahami kondisi lapangan yang mempengaruhi performa alat, seperti waktu *standby* dan kendala teknis.

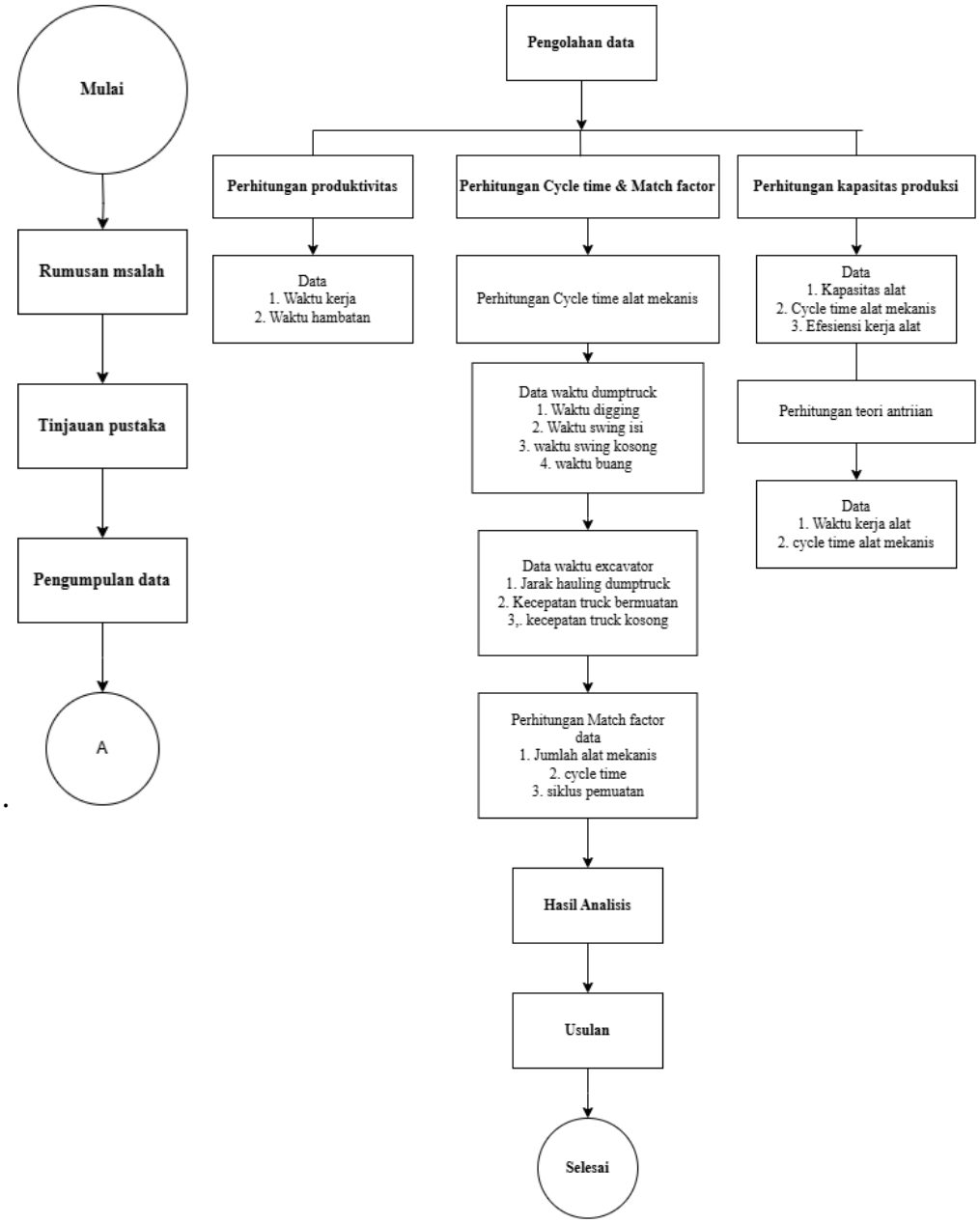
   2) *Foreman* lapangan: 4 orang

      Foreman bertanggung jawab dalam mengawasi dan mengatur keseluruhan proses operasional di lapangan dan memiliki wawasan mengenai produktivitas dan efisiensi kerja alat, serta faktor-faktor lain yang mungkin berdampak pada kinerja alat.

   3) Kepala Teknik Tambang (KTT): 1 orang

      Kepala Teknik Tambang memiliki peran strategis dalam menentukan kebijakan operasional, alokasi sumber daya, serta target produksi. Wawancara dengan KTT bertujuan untuk memahami tujuan perusahaan dan hambatan yang dihadapi.

3.4 Alur penelitian



Gambar 3. 1 Alur penelitian

Berikut adalah penjelasan terperinci dari alur penelitian yang ada pada Gambar 3.1, dari tahap Mulai hingga Selesai:

1. Mulai

Tahap ini merupakan langkah awal penelitian yang mencakup kegiatan persiapan, seperti penentuan topik, tujuan penelitian, dan perumusan masalah. Pada tahap ini, peneliti mengidentifikasi isu utama yang ingin diselesaikan, yaitu optimalisasi produktivitas alat gali muat dan angkut pada proses *overburden removal.*

2. Rumusan Masalah

   Setelah menentukan topik, langkah berikutnya adalah merumuskan masalah penelitian secara spesifik. Tahap ini bertujuan untuk menjabarkan permasalahan yang menjadi fokus penelitian, pada penelitian ini rumusan masalah yang di identifikasi adalah hambatan dalam produktivitas alat dan antrian yang terjadi selama proses operasi. Rumusan masalah ini nantinya akan menjadi panduan bagi seluruh proses penelitian.

3. Tinjauan Pustaka

   Pada tahap ini, peneliti mengumpulkan dan mempelajari literatur yang relevan dari berbagai sumber, seperti jurnal, buku, dan penelitian terdahulu. Tinjauan pustaka ini digunakan sebagai landasan teori, terutama yang berkaitan dengan konsep produktivitas alat gali muat dan angkut, teori antrian, dan faktor-faktor yang memengaruhi kinerja peralatan dalam industri pertambangan.

4. Pengumpulan Data

   Pengumpulan data dilakukan dengan metode yang telah ditentukan, yaitu:

   Data Primer, meliputi:

   1) *Cycle time* alat muat dan angkut untuk mengukur waktu satu siklus kerja alat untuk mengetahui durasi yang dibutuhkan dalam proses kerja. Data *cycle time* ini diambil secara manual dengan memanfaatkan penggunaan *stopwatch.* Waktu yang diambil berupa data siklus dari alat mekanis sebanyak 50 siklus
   2) Waktu *standby* dan waktu kerja efektif alat untuk menghitung durasi alat dalam kondisi tidak bekerja dan waktu efektifnya dalam operasi.
   3) Kemampuan produksi alat muat dan angkut aktual untuk mengetahui jumlah produksi aktual untuk mengetahui produktivitas alat.
   4) Efisiensi kerja alat untuk Menentukan tingkat efisiensi kerja alat berdasarkan waktu dan kapasitas operasional.

   Data Sekunder, yang mencakup:

1) Data waktu kerja perusahaan mendapatkan informasi tentang jam kerja efektif berdasarkan kebijakan perusahaan.
2) Spesifikasi alat mekanis menyediakan data spesifikasi alat yang digunakan dalam operasi.
3) Target produksi tahun 2023 dan aktual untuk mengetahui produksi yang dilakukan perusahaan pada periode sebelumnya untuk analisis perbandingan.

5. Pengolahan data

a. Perhitungan produktivitas

Perhitungan mengenai produktivitas kerja masing-masing alat dilakukan dengan data yang telah dikumpulkan dari tahap sebelumnya. Akibatnya, terdapat beberapa nilai seperti *Mechanical Availabilty (MA), Physical Availabilty (PA), Use of Availabilty (UA), dan Effective Utilization (EU)* berikut yang merupakan persamaan dari perhitungan produktivitas efesiensi untuk excavator dan dump truk.

$$MA\ alat\ mekanis = \frac{total\ waktu\ kerja - downtime\ akibat\ kerusakan}{Total\ waktu\ kerja} \times 100 \quad (3.1)$$

$$PA\ alat\ mekanis = \frac{total\ waktu\ kerja - downtime\ total}{Total\ waktu\ kerja} \times 100 \quad (3.2)$$

$$UA\ alat\ mekanis = \frac{waktu\ operasi\ nyata}{waktu\ tersedia} \times 100 \quad (3.3)$$

$$\text{EU excavator} = \frac{waktu\ operasi\ nyata}{total\ waktu\ kerja\ aktual} \times 100 \quad (3.4)$$

b. Perhitungan *cycle time* dan *match factor*

Perhitungan *cycle time* dilakukan untuk mengetahui waktu siklus dari alat mekanis dalam satu siklus penuh dengan menggunakan persamaan berikut:

$$Cmt = n \times Cms + \frac{D}{V_1} + t_1 \frac{D}{V_2} + t_2 \quad (3.5)$$

Sumber: komatsu handbook

Cmt= *Cycle time of dump truk*

n = siklus yang dibutuhkan untuk memenuhi *dump truck*.

$$n = \frac{C_1}{q_{1 \times K}} \tag{3.6}$$

Sumber: Komatsu handbook

C_1 = kapasitas *dump truk*

q1 = kapasitas *bucket loader* (excavator)

K = *bucket fill factor*

Cms = *Cycle time excavator*

D = jarak *hauling dump truck*

V1 = kecepatan rata-rata truk (isi)

V2 = Kecepatan rata-rata truk (kosong)

T1 = waktu dumping + waktu *standby* hingga proses dimulai

T2 = Waktu truck untuk diposisikan dan memulai pengisian

Perhitungan *match factor* dilakukan untuk menganalisis dan mengevaluasi keserasian kerja dari alat mekanis excavator dan *dump truck* dengan persamaan sebagai berikut:

$$MF = \frac{Na \times (Ctm \times n)}{Nm \times CTa} \tag{3.7}$$

Na = Jumlah alat angkut (unit)

Ctm = Ctm = Waktu edar alat gali muat (menit)

Nm = Jumlah alat muat (unit)

Cta = Waktu edar alat angkut (menit)

N = Banyak permuatan

c. Perhitungan metode kapasitas produksi

Menghitung dan mengevaluasi tingkat produktivitas untuk menentukan apakah alat sudah bekerja secara optimal, serta Menghitung setiap kapasitas produksi yang dihasilkan oleh setiap alat mekanis yaitu excavator dan *dump truck*. Dengan persamaan berikut:

$$Q = q \times \frac{3600}{Cm} \times E \tag{3.8}$$

Sumber: komatsu handbook

Q= Produksi per jam (m^3)

q = Produksi per siklus (m^3)

Cm = *Cycle time* (sec.)

E = Efisiensi kerja

Persamaan yang digunakan diatas digunakan untuk menghitung produksi per-jam pada excavator. Sedangkan untuk menghitung kapasitas produksi pada *dump truck* digunakan persamaan berikut.

$$Q = C \times \frac{60}{Cm} \times E \times Sf \times bank\ density \quad (3.9)$$

Source: komatsu handbook

Q= Produksi per jam (m^3)

C = Kapasitas *bucket* excavator (m^3)

C = $n \times q1 \times K$

Cm = *Cycle time* (sec.)

E = Efisiensti kerja

SF = Swell factor

Bank density = kepadatan material (*clay*)

Dari kapasitas produksi yang ada, dapat dilakukan perhitungan untuk alat angkut optimal

$$N\ alat\ angkut = \frac{P\ excavator}{P\ Dumptruck} \quad (3.10)$$

d. Perhitungan Teori Antrian

Perhitungan dengan teori antrian dilakukan untuk mengetahui dan melakukan simulasi antrian yang dapat terjadi pada proses pertambangan, langkah awal dalam penggunaan teori antrian ini adalah dengan menghitung jumlah kemungkinan antrian yang ada dengan persamaan berikut:

$$\frac{(N+M-1)!}{(M-1)!\,(N)!} \quad (3.11)$$

Dilanjutkan dengan perhitungan koefisien seluruh keadaan sistem atau antrian pada pengupasan *overburden* dengan persamaan berikut:

$$\frac{\mu 1^{(N-n1)}}{(n2)!\,(\mu 2^{n2})(\mu 3^{n3})(n4)!\,(\mu 4^{n4})} \tag{3.13}$$

Perhitungan koefisien yang dilakukan sebelumnya digunakan untuk menghitung probabilitas dengan persamaan berikut:

$$\mathrm{p}\,(\mathrm{n1},\mathrm{n2},\mathrm{n3},\mathrm{n4}) = \frac{1}{\Sigma Koefesien} \times Koefisien\ \mathrm{P}\,(\mathrm{n1},\mathrm{n2},\mathrm{n3},\mathrm{n4}) \tag{3.14}$$

6. Hasil Analisis

   Tahap ini merupakan penyusunan hasil dari semua analisis yang telah dilakukan. Hasil yang diperoleh akan memaparkan permasalahan yang terjadi, faktor-faktor yang memengaruhi produktivitas, serta rekomendasi perbaikan yang perlu dilakukan untuk mencapai kinerja alat yang optimal.

7. Selesai

   Tahap akhir ini mencakup penarikan kesimpulan dari penelitian berdasarkan hasil analisis. Kesimpulan ini mencakup evaluasi produktivitas alat gali muat dan angkut serta rekomendasi untuk meningkatkan efisiensi. Tahap ini juga menandakan berakhirnya proses penelitian.

BAB IV

PENGUMPULAN DAN PENGOLAHAN DATA

4.1 Pengumpulan Data

4.1.1 Perhitungan produktivitas alat mekanis

Dalam proses *Overburden Removal* atau pengupasan *Overburden*, terdapat dua jenis alat utama yang dibutuhkan. Alat tersebut mencakup suatu rangkaian tiap-tiap peralatan mekanis, alat tersebut adalah alat gali dan angkut. Alat gali muat digunakan untuk menggali material sedangkan alat angkut digunakan untuk mengangkut material yang telah digali untuk dipindahkan ke *disposal.* Alat gali yang dimaksud adalah *Excavator*, alat gali seperti *excavator* ini tidak memiliki mobilitas yang tinggi karena *excavator* adalah alat mekanis yang dikatakan *stasioner.* Sebaliknya alat muat yang dimaksud adalah *Dump truck* yaitu alat transportasi yang memiliki mobilitas yang tinggi karena aktivitas transportasi menempuh jarak yang cukup jauh. Oleh sebab itu diperlukan mobilitas yang tinggi pada alat angkut.

Jenis alat yang ada di penelitian ini yaitu *excavator* Komatsu PC-400 dan alat angkut yang digunakan yaitu *Dump truck Hino Euro 4 500*

Tabel 4. 1 Kapasitas alat mekanis pada pengupasan *overburden*

No	Unit	Kapasitas *Bucket*	Jumlah
1	Excavator Komatsu PC-400	3,2 m3	1
2	DT- Hino euro 4 500	21 ton	4

Mengacu Tabel 4.1 kapasitas alat gali muat excavator Komatsu PC-400 adalah 3,2 m3. Artinya, satu excavator dalam satu penggalian memiliki kapasitas untuk menampung material dalam jumlah tersebut. Dalam armada penggalian overburden, satu excavator berfungsi sebagai alat gali muat yang tersedia.

Untuk alat angkut yaitu *Dump truck* Hino euro 4 500 memiliki kapasitas bak sebanyak 18ton yang dapat diartikan daya tamping bak dari *dump truck* yaitu 41 ton. Pada penelitian ini terdapat 4unit alat angkut yang digunakan untuk pengangkutan material *overburden* ke area *disposal*. Tetapi kenyataan di lapangan, untuk pengisian dari kapasitas bak pada alat angkut tidak maksimal, hal ini dapat terjadi dikarenakan beberapa faktor seperti *density material* atau massa jenis material yang berbeda-beda, pada saat pengangkutan material dari *pit* ke *disposal* ada material yang jatuh karena bak tidak memiliki penutup di bagian belakang, jarak tempuh

perjalanan yang cukup jauh, kemiringan jalan dan medan jalan pada daerah tambang yang kurang memenuhi *standard.* Hal ini juga terjadi pada alat gali muat atau excavator karena kapasitas *bucket* dari excavator tidak sepenuhnya optimal karena pada saat melakukan *swing* biasanya terdapat material yang jatuh dan *bucket* tidak penuh sehingga kapasitas *bucket* excavator tidak optimum.

Perhitungan waktu dan produktivitas memerlukan jam kerja alat pada saat proses penambangan berlangsung. Jam kerja alat yang efektif merupakan jumlah jam pada saat memulai bekerja hingga pulang. Jumlah jam kerja pada PT. Maruco Indonesia adalah 24 jam/hari dan dibedakan menjadi 2 *sift*. Kegiatan pengupasan *overburden* pada saat penelitian ini dilangsungkan yaitu pada bulan Februari yang mana kegiatan pengupasan *overburden* hanya dilakukan selama 23 hari. Pada saat melakukan penelitian ini curah hujan pada bulan Februari terbilang cukup tinggi sehingga membuat kegiatan pertambangan yang dilakukan sedikit terganggu. Berikut merupakan distribusi jam kerja harian pada proses pertambangan

Tabel 4. 2 Waktu Jam Kerja

Hari	Waktu kerja (1 sift)	Jam kerja	Keterangan
Senin	07.00-12.00 & 13.00-17.00	9	Waktu normal
Selasa	07.00-12.00 & 13.00-17.00	9	Waktu normal
Rabu	07.00-12.00 & 13.00-17.00	9	Waktu normal
Kamis	07.00-12.00 & 13.00-17.00	9	Waktu normal
Jumat	07.00-11.00 & 13.00-17.00	8	Waktu normal
Sabtu	07.00-12.00 & 13.00-17.00	9	Waktu normal
Minggu	07.00-12.00 & 13.00-17.00	9	Waktu normal
		69	

Tabel 4.2 Menunjukkan waktu tersedia yang merupakan total waktu yang dipakai pada kegiatan pengupasan *overburden* pada proses pertambangan pada pagi hari pukul 07.00 sampai pukul 17.00 WIB dan pada sift malam dimulai pada pukul 19.00-5.00 WIB. Efisiensi kerja merupakan perbandingan antara waktu kerja efektif dengan waktu kerja yang tersedia yang dinyatakan dengan persen. Nilai efisiensi kerja mempengaruhi kemampuan produksi dari suatu alat. Adapun daktor-faktor lain yang juga mempengaruhi efisiensi kerja yaitu factor manusia, factor alat, factor cuaca serta kondisi lapangan.

Waktu tersedia pada jam kerja yang didapatkan adalah 540 menit atau 9 jam, maka hal yang selanjutnya diamati adalah hambatan dalam distribusi pekerjaan alat mekanis yang nantinya akan digunakan untuk menghitung efisiensi kerja dari tiap alat mekanis, data yang didapatkan dapat dilihat pada tabel 4.3 berikut:

Tabel 4. 3 Distribusi waktu hambatan alat gali muat dan angkut

Hambatan	**Excavator Komatsu**	***Dump truck***
Waktu kerja yang tersedia dalam 1 sift	540	540
1. Hambatan yang dapat dihindari		
Persiapan operasi	15	10
istirahat terlalu awal	15	25
Terlambat kerja setelah istirahat	15	20
Berhenti kerja lebih awal	10	10
Total waktu	55	65
2. Hambatan yang tidak dapat dihindari		
perjalanan ke pit tambang	5	10
pengisian bahan bakar	8	15
safety talk	5	5
Pemeriksaan dan pemanasan alat	30	30
total waktu	48	60

Data distribusi waktu hambatan tersebut akan dilakukan perhitungan efisiensi kerja masing-masing alat yang digunakan haruslah dilakukan karena nilai dari efesiensi kerja bisa mempengaruhi nilai masing-masing produksi dari alat mekanis pada pengupasan *overbuden.*

4.1.2 Perhitungan *Cycle time dan match factor*

Waktu kerja dan hambatan yang telah didapatkan sebelumnya digunakan untuk menghitung *cycle time* dan *Match factor* pada alat mekanis. *cycle time* dan *match factor* merupakan dua aspek penting dalam optimalisasi penggunaan alat mekanis, terutama dalam operasional alat gali dan alat angkut. *Cycle time* merujuk pada waktu yang dibutuhkan untuk menyelesaikan

satu siklus penuh operasi alat, yang meliputi proses penggalian, pemuatan material, pengangkutan, dan pembuangan. Semakin singkat *cycle time*, semakin tinggi produktivitas alat karena lebih banyak siklus yang dapat diselesaikan dalam periode waktu tertentu. Oleh karena itu, pengukuran *cycle time* secara akurat sangat penting untuk mengidentifikasi inefisiensi dan memaksimalkan penggunaan alat.

Sementara itu, *match factor* adalah rasio yang menunjukkan kesesuaian antara kapasitas alat gali dan alat angkut. Faktor ini memastikan bahwa kedua jenis alat dapat bekerja dengan optimal tanpa menyebabkan waktu tunggu yang berlebihan. Berikut merupakan data yang didapatkan dari hasil pengamatan di lapangan untuk perhitungan *cycle time*:

Tabel 4. 4 Waktu siklus excavator aktual

Waktu gali total(s)	**Waktu swing 1 (Isi)**	**Waktu Swing 2 (kosong)**	**Waktu Buang (s)**
10,7	14,6	16	4,2

Waktu siklus aktual didapatkan dari hasil pengamatan secara langsung pada excavator sebanyak 50 data, lalu dirata-ratakan untuk mendapatkan nilai yang akan dipakai untuk melakukan perhitungan *cycle time*, sedangkan data yang didapatkan untuk perhitungan c*ycle time* pada *dump truck* adalah sebagai berikut:

Tabel 4. 5 Data waktu siklus excavator

Kapasitas *dump truck*	$31m^3$
Kapasitas *bucket*	3,2 m^3
Bucket fill factor	0.9
Cycle time excavator	0,45 menit
Jarak *hauling dump truck*	900 meter
Kecepatan rata-rata truck (isi)	170 meter/menit
Kecepatan rata-rata truck (kosong)	220 meter/menit
Waktu dumping dan *standby*	4,5 menit
Waktu tunggu memulai pengisian	3,2 menit

Setelah mengamati waktu yang dibutuhkan untuk menghitung c*ycle time dump truck*, selanjutnya akan dilakukan perhitungan untuk menghitung *cycle time* pada kedua alat mekanis dengan rumus di bawah:

$$Cmt = n \times Cms + \frac{D}{V_1} + t_1 \frac{D}{V_2} + t_2 \quad (4.1)$$

Resource: Komatsu Handbook

Cmt= *Cycle time of dump truk*

n = siklus yang dibutuhkan untuk memenuhi *dump truck*.

$$n = \frac{C_1}{q_{1 \times K}} \quad (4.2)$$

C_1 = kapasitas *dump truk*

q1 = kapasitas *bucket loader* (excavator)

K = *bucket fill factor*

Cms = *Cycle time excavator*

D = jarak *hauling dump truck*

V1 = kecepatan rata-rata truk (isi)

V2 = Kecepatan rata-rata truk (kosong)

T1 = waktu dumping + waktu *standby* hingga proses dimulai

T2 = Waktu truck untuk diposisikan dan memulai pengisian

Setelah mendapatkan hasil *Cycle time* dari excavator dan *dump truck* maka hal yang selanjutnya dilakukan adalah menghitung *match factor* atau keserasian antara kedua alat mekanis dengan rumus sebagai berikut:

$$MF = \frac{Na \times (Ctm \times n)}{Nm \times CTa} \quad (4.3)$$

Keterangan:

Na = Jumlah alat angkut (unit)

Ctm = Ctm = Waktu edar alat gali muat (menit)

Nm = Jumlah alat muat (unit)

Cta = Waktu edar alat angkut (menit)

N = Banyak permuatan

Dengan perhitungan ini akan didapatkan nilai *match factor* atau nilai keserasian kerja antara excavator dan *dump truck* dengan kriteria apabila nilai MF <1 maka masih ada salah satu alat mekanis yang menunggu atau melakukan prosesnya yang tidak maksimal.

4.1.3 Metode Kapasitas Produksi

Nilai *match factor* yang telah dihitung antara kedua alat mekanis dapat dilakukan perhitungan kapasitas produksi untuk mencari tahu kapasitas yang bisa dihasilkan oleh setiap alat mekanis dan mengidentifikasi alat mana yang bekerja kurang optimal. Perhitungan kapasitas produksi pada alat mekanis bertujuan untuk menghitung seberapa banyak material yang dapat digali, dimuat dan diangkut oleh alat mekanis dalam satuan waktu yang telah ditentukan, seperti pada penelitian ini dihitung berapa kapasitas produksi per jam per hari dan per bulan yang bisa dihasilkan. Hal ini sangat penting untuk menilai apakah kedua alat mekanis sudah optimal ataupun tidak. Berikut merupakan data untuk menghitung kapasitas produksi:

C_1	=	kapasitas *dump truk*	=	31 m^3
q1	=	kapasitas *bucket loader* (excavator)	=	3,2 m^3
K	=	*bucket fill factor*	=	0,83

Cms	=	*Cycle time excavator*		
D	=	jarak *hauling dump truck*	=	900 (meter)
V1	=	kecepatan rata-rata truk (isi)	=	170 (meter/menit)
V2	=	Kecepatan rata-rata truk (kosong)	=	220 (meter/menit)
T1	=	waktu dumping dan *standby*	=	4,5 (menit)
T2	=	Waktu tunggu memulai pengisian	=	3,2 (menit)

4.1.4 Perhitungan teori antrian

Perhitungan alat angkut optimal dengan menggunakan metode kapasitas produksi yang telah dilakukan dapat dibandingkan dengan perhitungan alat angkut optimal yang akan dihitung dengan teori antrian untuk dipilih sebagai usulan maka dihitunglah perhitungan alat angkut maksimal dengan metode teori antrian.

Kegiatan *overburden* alat yang digunakan yaitu excavator sebanyak 1 unit dan *dump truck* sebanyak 4 unit yang dilayani oleh alat gali muat. Model teori antrian yang digunakan adalah *single chase* dengan satu pelayan(excavator) dan keadaan antrian yang berada pada *dump truck.* sehingga digunakan 4 tahap antrian (M) pada metode ini dengan alat excavator sebanyak 1 dan *dump truck* sebanyak 4, sehingga banyak kemungkinan kejadian antrian dengan metode ini dapat dihitung dengan menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$\frac{(N+M-1)!}{(M-1)!\,(N)!} \tag{4.6}$$

Setelah menghitung kemungkinan antrian, selanjutnya adalah menghitung tingkat pelayanan yang ada pada kegiatan *overburden* yaitu ada empat tahap yaitu:

a. Tahap 1

   T1 = waktu tunggu + waktu penempatan + waktu pengisian

b. Tahap 2

   T2 = Waktu perjalanan alat angkut bermuatan

c. Tahap 3

   T3 = waktu dumping

d. Tahap 4

   T4 = Waktu kembali alat angkut tidak bermuatan

   Empat tahap pelayanan yang telah dihitung dilanjutkan dengan perhitungan koefisien seluruh keadaan sistem pada pengupasan *overburden* dengan rumus berikut:

$$\frac{\mu 1^{(N-n1)}}{(n2)!\,(\mu 2^{n2})(\mu 3^{n3})(n4)!\,(\mu 4^{n4})} \tag{4.7}$$

   Berikutnya adalah menghitung probabilitas seluruh keadaan pengupasan *overburden* dengan rumus berikut:

$$\mathrm{p}\,(\mathrm{n1},\mathrm{n2},\mathrm{n3},\mathrm{n4}) = \frac{1}{\Sigma Koefesien} \times Koefisien\ \mathrm{P}\,(\mathrm{n1},\mathrm{n2},\mathrm{n3},\mathrm{n4}) \tag{4.8}$$

   Probabilitas seluruh keadaan yang telah dihitung maka tahap selanjutnya adalah menghitung nilai Lq1, Lq2, Lq3, dan Lq4 untuk menganalisis antrian alat angkut sesuai dengan banyak proses yang dilakukan di lapangan dengan rumus:

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

   Lq1 = ((1 x ∑Probabilitas n1=2) + (2 x ∑Probabilitas n1=3) +(3 x ∑Probabilitas n1=4))

   Perhitungan Lq 3 merupakan antrian alat angkut saat akan menumpahkan material di disposal dengan syarat n3>1

Lq3 = ((1 x ∑Probabilitas n3=2) + (2 x ∑Probabilitas n3=3) +(3 x ∑Probabilitas n3=4))

Setelah mendapatkan nilai Lq1 dan Lq3 maka akan dihitung nilai Wq yang merupakan waktu tunggu alat angkut saat akan dimuat oleh alat gali muat dengan rumus berikut:

$$Wq1 = \frac{Lq1}{\theta} \tag{4.7}$$

Sehingga dari perhitungan yang dilakukan maka akan didapatkan hasil jumlah truk optimal dengan menggunakan teori antrian.

4.2 Pengolahan Data

4.2.1 Perhitungan produktivitas dan *match factor*

Perhitungan produktivitas efesiensi kerja masing-masing alat yang dilakukan dengan data yang sudah didapatkan dari tahap sebelumnya, sehingga terdapat beberapa nilai seperti *Mechanical avaibility* (MA), *Physical aviability* (PA), *Use of Avaibility* (UA), *Effective Utilization* (EU) berikut merupakan perhitungan dan rekapitulasi dari perhitungan produktivitas efesiensi pada excavator dan *Dump truck*

a. *Mechanical Avaibility*

Untuk mencari mechanical avaibility dibutuhkan waktu total kerja, waktu downtime akibat kerusakan dan total waktu kerja berikut merupakan perhitungan nilai MA

$$MA\ excavator = \frac{total\ waktu\ kerja - downtime\ akibat\ kerusakan}{Total\ waktu\ kerja} \times 100 \tag{4.8}$$

$$MA\ excavator = \frac{540 - 55}{485} \times 100$$

$$MA\ excavator = 90\%$$

Dari perhitungan yang dilakukan, didapatkan MA excavator adalah 90% sedangkan perhitungan untuk MA *Dump truck adalah sebagai berikut:*

$$MA\ dumptruck = \frac{total\ waktu\ kerja - downtime\ akibat\ kerusakan}{Total\ waktu\ kerja} \times 100 \tag{4.9}$$

$$MA\ dumptruck = \frac{540 - 65}{475} \times 100$$

$$MA\ dumptruck = 88\%$$

Dua perhitungan diatas adalah perhitungan untuk menghitung *mechanical avaibility* pada excavator dan *dump truck* pada proses pertambangan.

b. *Physical avaibility*

Untuk menghitung waktu *Physical avaibility* dibutuhkan waktu total kerja, waktu downtime total, dan total waktu kerja. Berikut merupakan perhitungan nilai PA

$$PA \text{ excavator} = \frac{total\ waktu\ kerja - downtime\ total}{Total\ waktu\ kerja} \times 100 \qquad (4.10)$$

$$MA\ excavator = \frac{540 - 48}{492} \times 100$$

$$MA\ excavator = 91\%$$

Dari perhitungan yang dilakukan, didapatkan PA excavator adalah 91% sedangkan perhitungan untuk MA *Dump truck adalah sebagai berikut:*

$$PA\ dumptruck = \frac{540 - 48}{480} \times 100$$

$$PA\ dumptruck = 89\%$$

Dua perhitungan diatas adalah perhitungan untuk menghitung *Physical avaibility* pada excavator dan *dump truck* pada proses pertambangan.

c. Utilization avaibility

Untuk menghitung waktu *Utilization avaibility* dibutuhkan waktu operasi nyata, dan waktu tersedia . Berikut merupakan perhitungan nilai UA

$$UA \text{ excavator} = \frac{540}{540} \times 100$$

$$UA \text{ excavator} = 100\%$$

Dari perhitungan yang dilakukan, didapatkan UA excavator adalah 100% sedangkan perhitungan untuk UA *Dump truck adalah sebagai berikut:*

$$UA\ dumptruck = \frac{540}{540} \times 100$$

$$UA\ dump\ truck = 100\%$$

Dua perhitungan diatas adalah perhitungan untuk menghitung *Utilization avaibility* pada excavator dan *dump truck* pada proses pertambangan.

d. *Effective Utilization* (EU)

Untuk menghitung waktu *effective utilization* dibutuhkan waktu operasi nyata dan total waktu kerja aktual alat. Berikut merupakan perhitungan EU:

$$\text{EU excavator} = \frac{540}{437} \times 100$$

$$\text{EU excavator} = 81\%$$

Dari perhitungan yang dilakukan, didapatkan EU excavator adalah 81% sedangkan perhitungan untuk EU *Dump truck adalah* sebagai berikut:

$$\text{EU } dumptruck = \frac{540}{415} \times 100$$

$$\text{EU } dumptruck = 77\%$$

Dua perhitungan diatas adalah perhitungan untuk menghitung *Utilization avaibility* pada excavator dan *dump truck* pada proses pertambangan. Dari perhitungan setiap nilai maka hasil dari setiap perhitungan pada excavator dan *dump truck* dapat dilihat pada tabel rekapitulasi berikut:

Tabel 4. 6 Rekapitulasi hasil perhitungan efesiensi kerja aktual

No	Unit	MA	PA	UA	EU
1	Excavator Komatsu PC-400	90%	91%	100%	81%
2	Hino euro 4 500	88%	89%	100%	77%

Efesiensi kerja yang telah dihitung dari setiap alat mekanis menunjukkan angka yang terbilang tinggi, untuk itu dilakukan perhitungan *cycle time* atau waktu siklus untuk setiap alat mekanis untuk mengetahui *cycle time* atau waktu edar setiap alat , berikut merupakan perhitungan *cycle time* pada alat mekanis:

Tabel 4. 7 Perhitungan waktu siklus excavator aktual

Waktu gali total(s)	Waktu swing 1 (Isi)	Waktu Swing 2 (kosong)	Waktu Buang (s)	Waktu siklus (s)
10,7	14,6	16	4,2	45,5

Perhitungan waktu siklus Excavator yang telah dilakukan dilanjutkan dengan perhitungan waktu siklus pada *dump truck* menggunakan rumus di bawah

$$Cmt = n \times Cms + \frac{D}{V_1} + t_1 \frac{D}{V_2} + t_2 \qquad (4.16)$$

Resource: Komatsu Handbook

Cmt= *Cycle time of dump truk*

n = siklus yang dibutuhkan untuk memenuhi *dump truck*.

$$n = \frac{C_1}{q_{1 \times K}} \tag{4.17}$$

C_1 = kapasitas *dump truk* = 31 m^3

q1 = kapasitas *bucket loader* (excavator) = 3,2 m^3

K = *bucket fill factor* = 0,83

$$n = \frac{31}{3{,}2 \times 0.83} = 8{,}040 \text{ siklus} \tag{4.18}$$

n= 8 siklus

Cms = *Cycle time excavator*

D = jarak *hauling dump truck* = 900 (meter)

V1 = kecepatan rata-rata truk (isi) = 170 (meter/menit)

V2 = Kecepatan rata-rata truk (kosong) = 220 (meter/menit)

T1 = waktu dumping dan *standby* hing = 4,5 (menit)

T2 = Waktu tunggu memulai pengisian = 3,2 (menit)

$$Cmt = 8 \times 0{,}45 + \frac{900}{170} + 4{,}5 + \frac{900}{220} + 3{,}2 \tag{4.19}$$

Cmt = 21 menit

Perhitungan kedua siklus alat waktu siklus excavator jauh lebih singkat dibandingkan dengan waktu siklus *dump truck* sehingga dapat membuat excavator memiliki waktu tunggu yang lama untuk melakukan siklus selanjutnya. Tahap berikutnya adalah menghitung keserasian kerja antara excavator dan *dump truck* atau *match factor* berikut merupakan perhitungan *match factor* yang telah dilakukan

$$MF = \frac{Na \times (Ctm \times n)}{Nm \times CTa} \tag{4.20}$$

Keterangan:

Na = Jumlah alat angkut (unit) = 4 unit

Ctm = Waktu edar alat gali muat (menit) = 1 menit

Nm = Jumlah alat muat (unit) = 1 unit

Cta = Waktu edar alat angkut (menit) = 21,57 menit

N = Banyak permuatan = 4

$$MF = \frac{4 \times (1 \times 4)}{1 \times 21{,}57} \quad (4.21)$$

$$MF = 0{,}741684096$$

$$MF = 74\%$$

4.2.2 Perhitungan kapasitas produksi alat gali dan alat angkut

Cycle time dan *match factor* yang telah dihitung selanjutnya akan dilanjutkan pada perhitungan kapasitas produksi aktual untuk menganalisis kapasitas produksi yang tidak maksimal terjadi pada alat excavator atau *dump truck*. Berikut merupakan hasil perhitungan kapasitas produksi alat mekanis:

$$Q = q \times \frac{3600}{Cm} \times E \quad (4.22)$$

Source: komatsu handbook

Data yang diperlukan untuk rumus tersebut beserta keterangan sebagai berikut:

Q = Produksi per jam (m^3)

q = Produksi per siklus (m^3) = 12,8 m^3/DT

Cm = *Cycle time* (sec.) = 45,5 detik/DT (182 detik/4 DT)

E = Efisiensi kerja = 0,83

$$Q = 12{,}8 \times \frac{3600}{182} \times 0{,}83 \quad (4.23)$$

$$Q = 210{,}14 \frac{Bcm}{jam}$$

Hasil perhitungan kapasitas produksi *dump truck* adalah sebagai berikut:

$$Q = C \times \frac{60}{Cm} \times E \times Sf \times bank\ density \quad (4.24)$$

Source: komatsu handbook

Q = Produksi per jam (m^3)

C = Kapasitas *bucket* excavator (m^3)

C = $n \times q1 \times K$ = 11,52

Cm = *Cycle time* (sec.) = 21 menit

E = Efisiensti kerja = 0,83

SF = *Swell factor* = 0,8

Bank density = kepadatan material (*clay*) = 1.00

$$Q = 11{,}52 \times \frac{60}{182} \times 0{,}83 \times 0{,}8 \times 1 \quad (4.25)$$

Q= 21 bcm/jam/1 *dump truk*

Q= 84 bcm/jam/4 *dump truck*

4.2.4 Perhitungan alat angkut optimal dengan perhitungan kapasitas produksi

Perhitungan kebutuhan alat berdasarkan kapasitas produksi adalah sebagberikut:

$$N\ alat\ angkut = \frac{P\ excavator}{P\ Dumptruck} \quad (4.26)$$

$$N\ alat\ angkut = \frac{210\frac{bcm}{jam}}{20\frac{bcm}{jam}}$$

$$= 10{,}506 = 10\ \text{Unit}$$

4.2.3 Teori antrian

Proses untuk menghitung alat angkut optimal dengan menggunakan teori antrian dimulai dengan menghitung probabilitas atau kemungkinan keadaan antrian. Berikut merupakan hasil perhitungan keadaan antrian:

$$= \frac{(N+M-1)!}{(M-1)!\,(N)!} \quad (4.27)$$

$$= \frac{(4+4-1)!}{(4-1)!\,(4)!}$$

$$= 35\ Keadaan$$

Setelah menghitung kemungkinan antrian, selanjutnya adalah menghitung tingkat pelayanan yang ada pada kegiatan *overburden* yaitu ada 4 tahap yaitu:

e. Tahap 1

T1 = waktu tunggu + waktu penempatan + waktu pengisian

= 3.2 + 0.98 + 3.5

= 7.68 menit

$$\mu 1 = \frac{1}{T1} \times 60\ menit/jam$$

$$= \frac{1}{7.68} \times 60\ menit/jam$$

$$= 7.8125 = 8\ truck/jam$$

f. Tahap 2

T2 = Waktu perjalanan alat angkut bermuatan

= 5.3 menit

$$\mu 2 = \frac{1}{T2} \times 60\ menit/jam$$

$$= \frac{1}{5.3} \times 60\ menit/jam$$

$$= 11{,}320 = 11\ truck/jam$$

g. Tahap 3

T3 = waktu dumping

= 1.2 menit

$$\mu 3 = \frac{1}{T3} \times 60\ menit/jam$$

$$= \frac{1}{1.2} \times 60\ menit/jam$$

$$= 50\ truck/jam$$

h. Tahap 4

T4 = Waktu kembali alat angkut tidak bermuatan

= 4.1 menit

$$\mu 4 = \frac{1}{T4} \times 60\ menit/jam$$

$$= \frac{1}{4.1} \times 60\ menit/jam$$

$$= 15\ truck/jam$$

Perhitungan produktivitas menghasilkan data yang digunakan untuk menghitung nilai koefisien seluruh keadaan sistem, berikut adalah rumus dan perhitungan koefisien serta probabilitas seluruh keadaan dalam pengupasan *overburden* dengan rumus:

a. Rumus perhitungan koefisien seluruh keadaan

$$\frac{\mu 1^{(N-n1)}}{(n2)!\,(\mu 2^{n2})(\mu 3^{n3})(n4)!\,(\mu 4^{n4})}$$

b. Rumus perhitungan probabilitas seluruh keadaan

$$\mathrm{p}\ (\mathrm{n1}, \mathrm{n2}, \mathrm{n3}, \mathrm{n4}) = \frac{1}{\Sigma Koefesien} \times Koefisien\ \mathrm{P}\ (\mathrm{n1}, \mathrm{n2}, \mathrm{n3}, \mathrm{n4})$$

Hasil perhitungan koefisien dan probabilitas dari seluruh keadaan dapat dilihat pada tabel di bawah

Tabel 4. 8 Data perhitungan tingkat pelayanan

μ1	8
μ2	11
μ3	50
μ4	15
N	4

Tabel 4. 9 Perhitungan koefisien dan probabilitas setiap keadaan

No	Keadaan				Koefisien	Probabilitas
	n1	n2	n3	n4		
1	0	0	0	4	0,003371193	0,000817
2	0	0	4	0	0,00065536	0,000159
3	0	4	0	0	0,011656763	0,002826
4	4	0	0	0	1	0,242445
5	0	0	1	3	0,004045432	0,000981
6	0	1	0	3	0,018388328	0,004458
7	1	0	0	3	0,025283951	0,006130
8	0	1	3	0	0,002978909	0,000722
9	1	0	3	0	0,004096	0,000993
10	0	0	3	1	0,002184533	0,000530
11	1	3	0	0	0,064112196	0,015544
12	0	3	1	0	0,010257951	0,002487
13	0	3	0	1	0,034193171	0,008290
14	3	1	0	0	0,727272727	0,176324
15	3	0	1	0	0,16	0,038791
16	3	0	0	1	0,533333333	0,129304
17	0	0	2	2	0,003640889	0,000883
18	0	2	0	2	0,037612489	0,009119
19	2	0	0	2	0,142222222	0,034481
20	0	2	2	0	0,006770248	0,001641
21	2	0	2	0	0,0256	0,006207
22	2	2	0	0	0,26446281	0,064118
23	0	1	1	2	0,016549495	0,004012
24	1	0	1	2	0,022755556	0,005517
25	1	1	0	2	0,103434343	0,025077
26	1	1	2	0	0,018618182	0,004514
27	1	0	2	1	0,013653333	0,003310
28	1	2	0	1	0,141046832	0,034196
29	0	2	1	1	0,022567493	0,005471
30	2	0	1	1	0,085333333	0,020689

31	2	1	0	1	0,387878788	0,094039
32	2	1	1	0	0,116363636	0,028212
33	1	2	1	0	0,04231405	0,010259
34	0	1	2	1	0,009929697	0,002407
35	1	1	1	1	0,062060606	0,015046
					4,124643851	1,000000
					sigma koefisien	Sigma probabilitas

Perhitungan efisiensi ini dilakukan sebanyak 35 kali sesuai dengan hasil perhitungan banyaknya keadaan yang telah dihitung dimulai dari keadaan P(0,0,0,4) sampai dengan keadaan P(1,1,1,1)

Tabel 4. 10 Perhitungan Lq1

n1>1	Probabilitas	∑Probabilitas	Lq1	
4	0,242445	0,242445	1,663918913	2DT
3	0,176324	0,344419		
3	0,038791			
3	0,129304			
2	0,034481	0,247745		
2	0,006207			
2	0,064118			
2	0,020689			
2	0,094039			
2	0,028212			

Pada perhitungan Lq1, merupakan keadaan antrian alat angkut saat akan dimuat oleh alat gali muat dengan syarat n>1 hingga didapatkan dari perhitungan yang sesuai yaitu 1,63 atau 2 *dump truck*. setelah menghitung Lq1 maka akan dilanjutkan dengan perhitungan Lq3

Tabel 4. 11 Perhitungan Lq3

n3>1	Probabilitas	∑Probabilitas	Lq3	
4	0,000159	0,000159	0,023928688	1 DT
3	0,000722	0,002245		
3	0,000993			
3	0,000530			
2	0,000883	0,018962		
2	0,001641			
2	0,006207			
2	0,004514			
2	0,003310			
2	0,002407			

Perhitungan Lq3, merupakan antrian alat angkut saat menumpahkan material di disposal dengan syarat n3>1 hingga didapatkan dari perhitungan yang sesuai yaitu t 1 *dump truck.* tahap selanjutnya setelah melakukan perhitungan pada nilai Lq maka akan dilanjutkan pada perhitungan nilai Wq sebagai berikut:

Tabel 4. 12 Perhitungan Wq1

n1=0	Probabilitas	∑Probabilitas	n1	0	wq1	wq2
0	0,000817	0,044804	0,955196	7,641565	0,21774582	0,00313139
0	0,000159					
0	0,002826					
0	0,000981					
0	0,004458					
0	0,000722					
0	0,000530					
0	0,002487					
0	0,008290					
0	0,000883					
0	0,009119					
0	0,001641					
0	0,004012					
0	0,005471					
0	0,002407					

Perhitungan Wq1, merupakan waktu tunggu alat angkut saat akan dimuat oleh alat gali muat, sebelum menghitung nilai Wq terlebih dahulu perlu diketahui tingkat kesibukan alat gali muat ($\eta 1$) dengan n1= θ

Nilai n1 yang telah didapatkan selanjutnya akan dihitung nilai Wq1 dan Wq3 seperti tabel diatas didapati bahwa waktu Wq 1 yaitu waktu yang dibutuhkan oleh *dump truck* untuk mengantri saat akan dimulai alat gali muat, sedangkan wq3 merupakan waktu antrian alat angkut saat akan menumpahkan material ke disposal. Berdasarkan perhitungan penerapan teori antrian sebelumnya maka dapat dihitung total waktu edar alat angkut adalah sebagai berikut:

$$CT\ Total = \frac{1}{\mu 1} + \frac{1}{\mu 2} + \frac{1}{\mu 3} + \frac{1}{\mu 4} + \text{Wq1} + \text{Wq3}$$

$$CT\ Total = \frac{1}{8} + \frac{1}{11} + \frac{1}{50} + \frac{1}{15} + 0{,}21774582 + 0{,}00313139$$

$$CT\ Total = 0{,}52345297 = 31{,}407\ menit$$

Perhitungan total waktu edar alat angkut dengan teori antrian yang telah dilakukan didapati *Cycle time* dari *dump truck* adalah 31,407 menit. Sehingga tingkat kedatangan *dump truck* di *front* pertambangan adalah sebagai berikut :

$$\lambda = \frac{1}{Ct} = \frac{1}{0{,}52345297} = 1{,}91039 = 2\ truck/jam$$

Sedangkan jumlah *dump truck* yang dibutuhkan dapat dihitung adalah sebagai berikut:

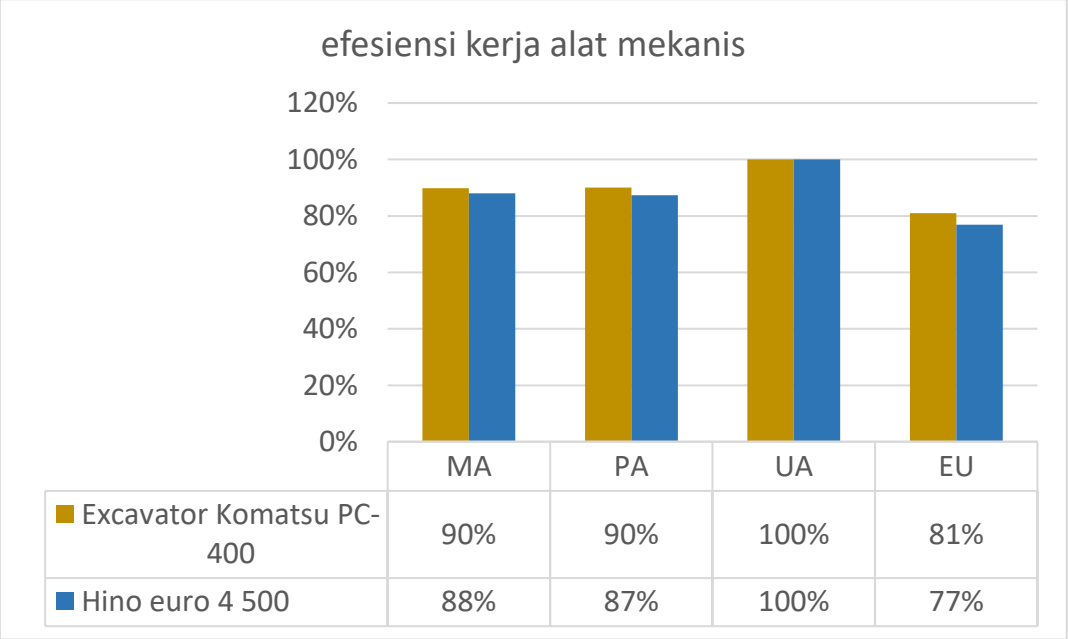
$$N = \frac{\mu 1}{\lambda} = \frac{8}{1{,}91039} = 4{,}81 = 5\ dumptruck$$

Dari perhitungan yang dilakukan, jumlah *dump truck* yang dibutuhkan jika dihitung dengan menggunakan teori antrian adalah sebanyak 5 *dump truck*.

BAB V
PEMBAHASAN

5.1 Analisis produktivitas, efesiensi alat gali muat dan alat angkut

Efesiensi dalam proses pengupasan *overburden* dengan menggunakan dua alat mekanis dengan jenis excavator komatsu tipe PC-400 dan *dump truck* dengan tipe Hino euro 4 500 terbagi menjadi 4 faktor yang dapat dilihat dari grafik di bawah :



Gambar 5. 1 Diagram perbandingan efesiensi kerja

Pada Gambar 5.1 hasil dari penghitungan nilai efisiensi kerja mekanis (MA), yang merupakan ukuran efisiensi kerja dari masing-masing alat mekanis dalam pengupasan overburden. Nilai MA sebesar 90% untuk jenis alat gali muat excavator Komatsu PC-400 dan 88% untuk alat angkut Hino Euro 4 500. Mechanical aviability dipengaruhi oleh beberapa faktor, salah satunya adalah kerusakan pada alat. Physical aviability (PA) juga merupakan nilai untuk mengetahui berapa lama faktor luar (seperti cuaca) dapat dipengaruhi. Dari data yang ada diperoleh nilai PA sebesar 87,2% untuk alat gali muat dan 87 %untuk alat angkut. *Use of Avaibility* (UA) adalah nilai yang menunjukkan seberapa sering alat digunakan dari waktu yang tersedia, karena itu waktu penggunaan alat pada perusahaan dikatakan 100% karena digunakan secara terus menerus pada jam kerja. Effective Utilization (EU) menunjukkan lamanya waktu yang dapat dipergunakan oleh alat mekanis dalam kegiatan operasional berdasarkan waktu kerja yang ada.

Efisiensi kerja alat mekanis mencapai 81% untuk alat gali muat dan 77% untuk alat angkut dalam kegiatan pengupasan overburden.

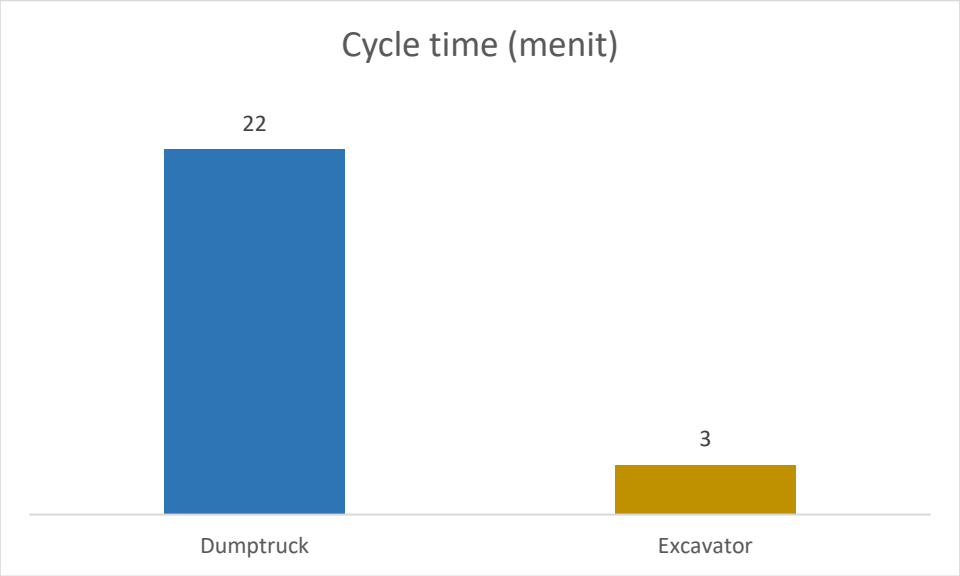
Hasil data perusahaan yang menunjukkan efesiensi kerja (EU) aktual alat mekanis yang digunakan pada kegiatan pertambangan pada pengupasan *overburden* berada di angka 77%-81% yang berarti semua alat berada dalam keadaan sedang – baik, hal ini didasarkan dengan Permen PU No. 11/PRT/M/2013 yang menyatakan bahwa faktor efisiensi kerja alat mekanis yang dibagi menjadi 4 faktor utama yang diklasifikasikan efesiensi 0,58 dikatakan kondisi operasi yang kurang, 0,67 pada keadaan yang agak kurang, 0,75 pada keadaan sedang dan 0,83 berarti kondisi operasi dalam keadaan baik

5.2 Analisis *Cycle time* dan keserasian *Match factor* alat

Cycle time adalah waktu edar yang dibutuhkan alat mekanis seperti excavator dan *dump truck* untuk melaksanakan kegiatan penambangan yang dimulai dengan penggalian hingga kembali ke posisi awal. Pada penelitian ini dilakukan pengamatan dan pengambilan data *cycle time* pada masing-masing alat mekanis yang digunakan dimulai pada penggali material, *swing* isi, penumpahan material ke dalam *dump truck* dan terakhir *swing* kosong untuk menempatkan *bucket* kembali pada posisi semula agar bisa melakukan proses secara berulang. Pengamatan pada *cycle time* yang dilakukan dimulai pada kegiatan pengangkutan material dari lokasi galian menuju ke *disposal* yang biasa disebut dengan *Hauling loading time* (HLT). Setelah *dump truck* menuju *disposal* dilakukan pengukuran waktu penempatan alat sesaat sebelum dilakukannya *dumping* material *overburden* pada proses ini sering terjadinya kendala yaitu waktu yang terlalu lama untuk Antri antara *dump truck* yang sedang melakukan proses pembuangan, kemudian dilakukan pengukuran waktu yang dibutuhkan oleh *dump truck* untuk menumpahkan material, selanjutnya adalah waktu yang diperlukan oleh *dump truck* untuk kembali ke area penggalian. Pada saat *dump truck* kembali ke area penggalian, juga sering terjadi beberapa kendala berupa waktu yang banyak terbuang dikarenakan kembali terjadinya antrian, yang menyebabkan pengaruh waktu edar dari alat angkut tersebut terganggu.

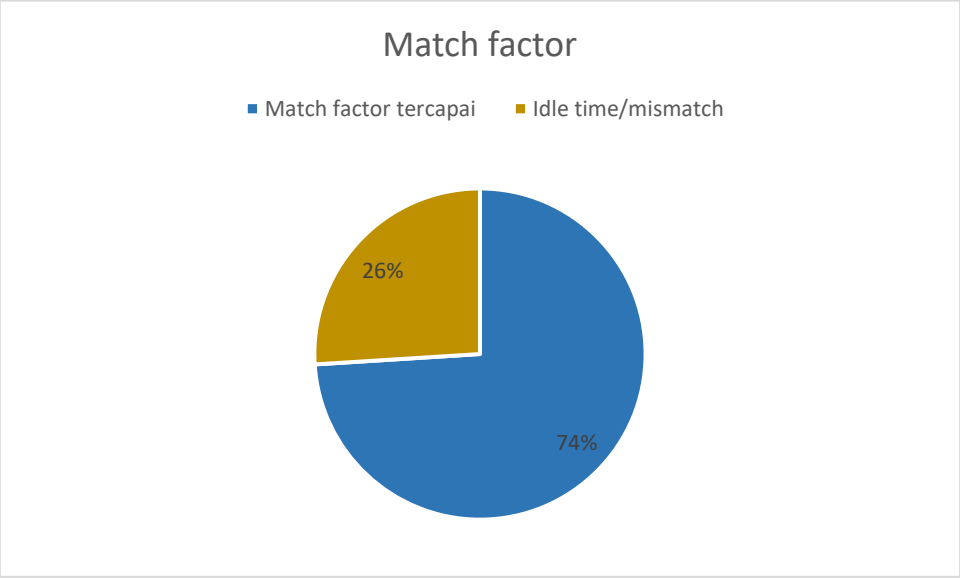
Dengan adanya pengukuran dan perhitungan secara langsung terhadap waktu edar masing-masing alat mekanis ini dapat meminimalisir waktu yang terbuang dan menjadikan data menjadi lebih akurat. Pengukuran ini dilakukan sebanyak 50 kali pada masing-masing alat gali

dan juga alat angkut dan dihitung rata-rata dari seluruh waktu tersebut untuk menentukan data yang akan digunakan untuk menganalisis *cycle time* yang ada. Hasil dari perbandingan perhitungan *cycle time* kedua alat mekanis dapat dilihat pada Gambar grafik berikut:



Gambar 5. 2 Perbandingan *cycle time* alat mekanis

Dari Gambar 5.2 diatas dapat dianalisis bahwa *cycle time dump truck* jauh lebih besar daripada waktu siklus excavator, waktu siklus excavator relatif singkat untuk menyelesaikan proses *digging*, *swing* dan *loading*. Waktu siklus yang cepat ini menunjukkan bahwa excavator sangat efisien dalam prosesnya sedangkan alat angkut *dump truck* memiliki waktu siklus yang lebih lama karena proses pengangkutan yang mencakup proses *loading*, *haul* isi, *dumping*, *haul kosong*, adanya waktu Antri pada saat pembuangan dan kembali ke lokasi penggalian serta waktu Antri untuk melakukan pengisian kembali. Dengan waktu siklus yang lebih lama, *dump truk* menjadi tidak efisien dan menimbulkan *bottleneck* hingga menyebabkan excavator memiliki *idle time* yang signifikan. Untuk memvalidasi hal tersebut dihitunglah *match factor* yaitu nilai keserasian kerja pada kedua alat mekanis. Faktor keserasian alat kerja ini memiliki peran untuk tercapainya produksi yang optimal, karena itu keserasian kerja antara excavator dan *dump truck* perlu diperhatikan agar tidak terjadi kekurangan atau kelebihan alat yang dapat mengganggu kegiatan penambangan *match factor* yang dihasilkan dari perhitungan dapat dilihat pada Gambar berikut:



Gambar 5. 3 *Match factor*

Pada Gambar 5.3 diatas *match factor* yang tercapai adalah sebesar 74% hal ini berarti hanya 74% dari waktu kerja excavator yang digunakan secara efektif, sementara itu 26% waktu lainnya merupakan *idle time* atau waktu tunggu yang dihasilkan karena ketidaksesuaian siklus antara excavator dan *dump truck. Match factor* yang berada di bawah 100% menunjukkan bahwa ada salah satu atau kedua alat mekanis yang tidak beroperasi secara optimal, sehingga menyebabkan inefisiensi dalam proses penambangan. Dalam kasus ini inefisiensi disebabkan oleh waktu siklus *dump truck* yang lebih lama dibandingkan excavator, sehingga *dump truck* tidak dapat mengikuti kecepatan kerja excavator.

Dampak dari adanya *idle time* ini mengurangi produktivitas pengupasan *overburden* secara signifikan karena excavator dapat bekerja secara terus-menerus tanpa *idle time*, maka kapasitas produksi akan meningkat drastis namun hal ini terhambat oleh tidak sesuainya siklus dengan *dump truk.*

5.3 Analisis kapasitas produksi alat mekanis dan alat angkut optimal

Kapasitas produksi merupakan metode yang digunakan untuk menghitung jumlah kebutuhan *dump truck* dalam satu *fleet* pada kegiatan pertambangan yang pada penelitian ini yaitu pengupasan *overburden* atau *overbuden removal.* Perhitungan kapasitas produksi dari masing-masing alat yakni alat gali muat dan alat angkut dibutuhkan untuk melihat produksi yang bisa dihasilkan oleh masing-masing alat mekanis dengan tujuan dapat dilakukannya perhitungan

jumlah kebutuhan *dump truck* dalam satu *fleet.* Setelah menghitung kemampuan produksi dari alat mekanis maka didapatkan kemampuan produksi alat mekanis adalah sebagai berikut:

Tabel 5. 1 Kemampuan produksi alat

no	unit	*cycle time*	produktivitas produksi
1	Komatsu pc-400	3,08 menit	210 bcm/jam
2	Hino euro	21 menit	80 bcm/jam

Pada tabel 5.1 dapat dilihat hasil perhitungan kemampuan produksi alat gali muat dan alat angkut berdasarkan perhitungan data pengamatan yang dilakukan. Data kemampuan produksi ini digunakan dalam perhitungan kebutuhan alat angkut. Perhitungan ini 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. Berdasarkan perhitungan kebutuhan alat berdasarkan kapasitas produksi adalah sebagai berikut:

$$N\ alat\ angkut = \frac{P\ excavator}{P\ Dumptruck}$$

$$N\ alat\ angkut = \frac{210\ bcm/jam}{20\ bcm/jam}$$

$$= 10{,}506 = 10\ \text{Unit}$$

perhitungan diatas, maka jumlah alat angkut yang dibutuhkan adalah 10unit untuk memaksimalkan produksi yang dapat dilakukan oleh excavator pada pengupasan beban yang berlebihan. Pendapat ini masuk akal (Diah Lydianingtias dan Suhariyanto, 2018). Pada umumnya, ada banyak jenis alat yang digunakan dalam suatu pekerjaan dan masing-masing memiliki tingkat produktivitas yang berbeda. Oleh karena itu, untuk menentukan jenis alat mana yang paling dibutuhkan, perhitungan harus dilakukan. Jadi, jumlah alat = produksi terbesar/produksi alat.

Pada penelitian ini dimana perhitungan dengan kapasitas produksi alat yang memiliki produktivitas terbesar adalah alat gali muat atau excavator, sehingga selanjutnya dapat dicari kebutuhan alat angkut berdasarkan nilai produktivitas dari alat gali muat dibagi dengan produktivitas alat angkut, maka dihasilkanlah alat angkut yang maksimal untuk memaksimalkan produksi dengan memperhatikan produktivitas produksi alat gali muat adalah sebanyak 10 unit, sedangkan *dump truck* aktual yang digunakan oleh Perusahaan adalah

sebanyak 4 *dump truck*, jadi perlu adanya penambahan sebanyak 6 *dump truck* jika mengikuti perhitungan kapasitas produksi. Ke tidak seimbangan ini dapat memvalidasi perbedaan signifikan dalam *cycle time* antara kedua alat. *Dump truck* memerlukan waktu yang lebih lama untuk menyelesaikan siklus penuh dibanding dengan excavator.

5.4 analisis perhitungan alat angkut optimal dengan teori antrian

1. Penentuan tingkat pelayanan

Dari hasil pengamatan di lapangan yang dilakukan disiplin pelayanan yang digunakan adalah FCFS(*First come, first served)* model ini adalah model yang paling banyak digunakan pada kegiatan pertambambangan. Barisan antrian termasuk ukuran kedatangan secara terbatas dan hanya dilayani oleh satu unit excavator maka pelayanannya adalah pelayanan tunggul (*single serve*). Jenis pelayanan model ini memungkinkan terjadinya keadaan antrian dikarenakan satu alat gali muat harus melayani beberapa alat beberapa alat angkut, selain itu juga dapat terjadi karena tidak terjadwalnya waktu keberangkatan dan waktu kedatangan dari *front loading* hingga berkemungkinan menyebabkan antrian alat angkut. Terjadinya antrian alat angkut pada kegiatan *overburden removal* bisa membuat kerja alat angkut tidak optimal atau tidak mencapai keadaan 100% alat bekerja tanpa hambatan.

Dalam penentuan hambatan secara optimal, metode antrian digunakan sebagai teori pendukung. Hal ini dikarenakan metode antrian menggunakan data waktu edar dari masing-masing alat mekanis yang digunakan pada kegiatan operasional tambang. Tahapan- tahapan yang digunakan dalam metode antrian ini terbagi menjadi 4 yaitu:

a. Tahap 1(μ1,) adalah tahap pelayanan yang dilakukan oleh alat gali muat untuk memuat material ke alat angkut hingga terisi penuh. Tahap pertama ini dimulai ketika alat angkut tiba di area loading, menunggu giliran untuk dimuat, melakukan penempatan untuk memuat material, dan membutuhkan waktu satu jam untuk mengisi material dari alat gali muat atau excavator ke alat angkut.

Tahap pelayanan ini adalah perhitungan untuk mendapatkan nilai *dump truck* yang bisa dilayani oleh excavator pada area *loading* dalam 1 jam proses penambangan. Dalam perhitungan yang telah dilakukan didapatkan nilai T1 yaitu 7,68 menit, yang artinya 1 *dump truck* memerlukan waktu selama 7,68 menit pada tahap 1 untuk selanjutnya dilakukan

perhitungan μ1untuk mengetahui jumlah dari *dump truck* yang bisa dilayani oleh excavator dalam waktu 1 jam. Maka didapatkanlah hasil 8 *dump truck* per jam.

b. Tahap 2, adalah tahap pelayanan sendiri di mana alat angkut bergerak menuju disposal. Ini disebut sebagai tahap pelayanan sendiri karena alat angkut yang telah selesai pada tahap sebelumnya bergerak dari area loading menuju tempat tujuan, yaitu disposal.
   Pada tahap ini, material diangkut oleh alat angkut dari bagian depan penambangan ke lokasi penyimpanan. Kegiatan ini disebut T2, dan waktu yang dibutuhkan adalah 5,3 menit. T2 nya adalah 11 unit dump truk per jam.
c. Tahap 3 (μ3), adalah tahap alat angkut menumpahkan material di *disposal.* tahap 3 merupakan kegiatan yang terjadi di area *disposal* yang mana area tersebut merupakan tempat tujuan alat angkut untuk menumpahkan material, tahap ini dimulai dari datangnya alat angkut ke masing-masing area tujuan, penempatan untuk penumpahan material dan proses pembuangan material.

Pada tahap ini, nilai T3 yang didapatkan adalah sebesar 1.2 menit dan μ3 sebanyak 50 unit. Artinya, dalam 1 jam excavator mampu bekerja untuk memenuhi sebanyak 50 unit *dump truck.*

d. Tahap 4(μ4) adalah tahap pelayanan sendiri, yang berarti alat angkut tidak bermuatan kembali menuju area *loading*. Pada tahap ini alat angkut yang telah selesai menumpahkan material pada area tujuan masing-masing kembali menuju ke area loading dalam keadaan kosong dan akan mengulangi siklus yang sama dimulai dari tahap 1 sampai dengan tahap 4

Pada tahap ini, adalah tahap dimana pada saat penumpahan material telah selesai dilakukan, dibutuhkan waktu untuk kembali ke area *loading* material atau *front.* Adapun waktu yang diperlukan alat angkut di tahap ini adalah 4.1 menit dan nilai μ4 yang didapatkan adalah 16 *truk/*jam. Dalam keadaan kosong, *dump truck* akan memiliki *cycle time* lebih cepat jika dibandingkan dengan pada saat *dump truck* memiliki muatan. Hal ini dikarenakan berat muatan yang diangkut mempengaruhi kecepatan dari *dump truck* itu sendiri. Hasil perhitungan tingkat pelayanan jika direkapitulasi dapat dilihat pada tabel berikut:

Tabel 5. 2 Hasil perhitungan tingkat pelayanan

No	Tingkat pelayanan	Jumlah *Dump truck* (unit/jam)
1	Tahap 1($\mu 1$)	8
2	Tahap 2($\mu 2$)	11
3	Tahap 3($\mu 3$)	50
4	Tahap 4($\mu 4$)	15

2. Probabilitas keadaan antrian

Pada analisis probabilitas antrian ini dengan mengacu pada hasil *match factor* untuk kegiatan pengupasan *overburden.* Peralatan yang digunakan terdiri dari 1 unit *excavator* jenis Komatsu PC-400 dan 4 unit *dump truck* jenis Hino euro 4 500. Karena itu metode teori antrian ini menggunakan 4 tahap antrian (M), yang memungkinkan perhitungan berbagai kemungkinan keadaan antrian. Rumus serta hasil perhitungan jumlah probabilitas keadaan anrian adalah sebagai berikut:

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

$$= \frac{(4 + 4 - 1)!}{(4 - 1)!\,(4)!}$$

$$= 35\ Keadaan$$

Hasil diatas mendapatkan banyaknya perhitungan probabilitas keadaan sebanyak 35 kemungkinan keadaan antrian yang berbeda dalam sistem operasi pengupasan *overburden* ini. Jumlah dari keadaan antrian ini mencerminkan kompleksitas dan variabilitas dalam sistem antrian yang ada, serta memberikan Gambaran tentang berbagai skenario yang mungkin terjadi dalam operasional sehari-hari. Setelah mendapatkan jumlah keadaan antrian, langkah selanjutnya adalah melakukan perhitungan untuk memperoleh koefisien dan probabilitas dari masing- masing keadaan antrian. Proses ini melibatkan faktor-faktor seperti waktu siklus excavator, waktu pengisian *dump truck*, waktu perjalanan *dump truck* (dalam keadaan bermuatan dan kosong), serta waktu manuver dan penumpahan muatan. Perhitungan ini penting untuk memahami distribusi probabilitas dari berbagai keadaan antrian dan mengidentifikasi keadaan-keadaan yang paling sering terjadi atau yang mungkin menjadi *bottleneck* dalam sistem.

3. Perhitungan koefisien dan probabilitas keadaan sistem

Perhitungan koefisien yang dilakukan hingga 35 keadaan dimulai dari P(0,0,0,4) hingga pada P(1,1,1,1). Hasil dari perhitungan mendapati bahwa nilai koefisien 1 yaitu pada P(4,0,0,0). Dikarenakan pada saat probabilitas tersebut didapatkan nilai 1, maka probabilitas tersebutlah yang nantinya akan menjadi acuan pada perhitungan probabilitas masing-masing keadaan sistem. Dari perhitungan probabilitas masing-masing keadaan sistem didapatkan nilai jumlah keseluruhan keadaan sistem adalah 4,124644. Dengan didapatkan nilai koefisien tersebut, maka dihitunglah perhitungan probabilitas masing-masing keadaan dan mendapatkan hasil dari total seluruh probabilitas adalah 1.00, maka dapat divalidasi nilai dari probabilitas yang telah dihitung pada setiap persamaannya mendapatkan nilai 1. Dengan didapatkannya nilai tersebut maka dihitunglah probabilitas masing-masing keadaan yang ada.

4. Perhitungan Lq1, Lq3, Wq1 dan Wq3

Dari perhitungan Lq1 dan Lq3 didapatkan hasil berikut:

Tabel 5. 3 Hasil perhitungan Lq

Lq1	Lq3
1,663919 = 2 DT	0,023929 = 1 DT

Dari tabel 5.3 tersebut dapat dianalisis bahwa jumlah *dump truck* yang mengantri pada tahap 1 atau pada area *loading* sebanyak 2 *dump truck.* hal ini dapat terjadi karena adanya waktu tunggu di area *loading* pada Lq3 didapatkan hasil bahwa jumlah *dump truck* yang mengantri pada area disposal tidak ada.

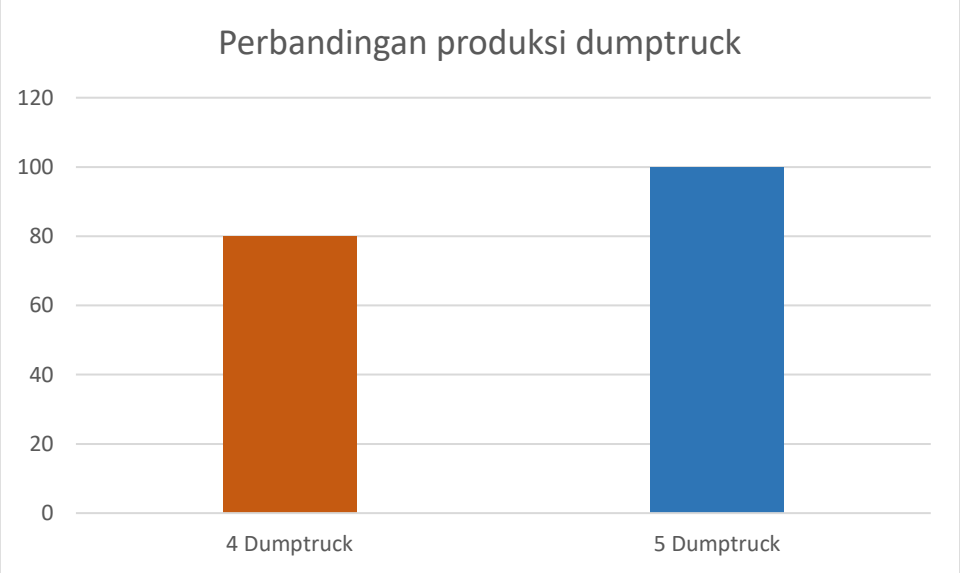
Tabel 5. 4 Hasil perhitungan Wq

wq1	wq2
0,217746 menit	0,003131 menit

Sebelum memulai perhitungan Wq1 harus dipahami bahwa syarat perhitungan Wq1 dapat dilakukan adalah apabila nilai n1=0, yang artinya waktu tunggu alat angkut saat akan dimuat oleh alat gali muat. Nilai Wq1 didapatkan adalah 0,217746 menit. Untuk perhitungan Wq3 dari perhitungan yang telah dilakukan didapatkan hasil 0,003131 menit. Wq3 merupakan perhitungan waktu tunggu penumpahan material pada area disposal. waktu tunggu dari Wq1 dan Wq3 ini lah yang menyebabkan terjadinya antrian pada alat angkut.

5. Jumlah *dump truck* yang dibutuhkan berdasarkan teori antrian

Berdasarkan perhitungan yang telah dilakukan, didapatkan kebutuhan truk agar tidak terjadi antrian adalah 5 unit. Maka hal ini perlu diperhatikan oleh perusahaan agar keserasian kerja atau *match factor* antara excavator dan *dump truck* dapat maksimal, dan dapat meningkatkan produktivitas dai alat angkut serta membuat produksi yang dibutuhkan lebih baik. Dengan penambahan 1 unit *dump truck* sistem antrian menunjukkan bahwa tingkat pemakaian sumber daya sudah mendekati kapasitas maksimal, di mana setiap *dump truck* memiliki waktu tunggu yang relatif rendah, namun masih terdapat potensi untuk peningkatan produktivitas seperti faktor yang juga mempengaruhi adalah kondisi lapangan pada *front* tambang seperti jalan yang sempit, kemiringan tanah, dan cuaca. Selain itu dari hasil perhitungan dengan menggunakan teori antrian dapat juga dilakukan penjadwalan keberangkatan yang bertujuan untuk mengatur waktu kedatangan dan keberangkatan *dump truck* seperti dari front ke disposal sehingga tidak terdapat waktu yang terbuang percuma yang nantinya akan berpengaruh terhadap produksi yang dihasilkan berikut merupakan perbandingan produksi jika terjadi penambahan 1 *dump truck*



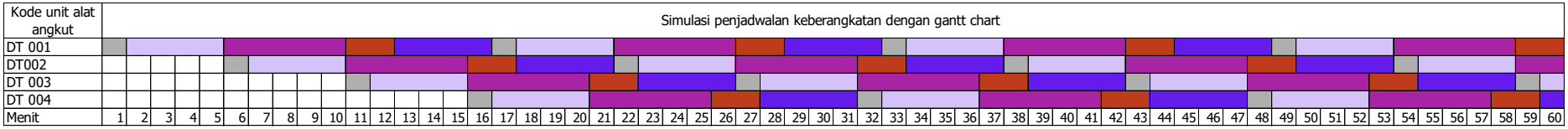
Gambar 5. 4 Perbandingan produksi *dump truck*

Dari Gambar pada grafik 5.4 dilihat bahwa ketika proses *overburden* dilakukan dengan 4 *dump truck* maka produksi yang dihasilkan adalah 80 bcm/jam, dan ketika dilakukan penambahan sebanyak 1 *dump truck* maka terdapat penambahan kapasitas produksi yang terjadi yaitu menjadi 100 bcm/jam yang akan menambahkan produktivitas yang ada pada proses pertambangan.

6. Penjadwalan keberangkatan kegiatan pengupasan *overburden*

Jadwal merupakan salah satu teks fungsional yang berisikan daftar kegiatan, program dan waktu pelaksanaan. Ini bertujuan agar kegiatan yang telah direncanakan dapat terlaksanakan dengan baik sesuai dengan rencana. Penjadwalan ini merupakan dasar untuk mengalokasikan sumber daya seperti mesin dan peralatan produksi, sumber daya manusia yang digunakan pada proses produksi. Karena itu penjadwalan yang baik akan berdampak positif terhadap kelancaran produksi serta meminimalisir waktu dan biaya produksi . dari data sebelumnya yang telah dihitung didapatkan waktu aktual dari *cycle time dump truck* adalah 22 menit dengan adanya antrian yang terjadi, simulasi penjadwalan keberangkatan dan kedatangan alat angkut yang dilakukan mengacu pada waktu yang sudah dikurangi dengan waktu antrian sehingga dapat membuat produksi lebih efisien dan mempermudah penjadwalan keberangkatan yang akan dibuat.

Sebelum pembuatan simulasi keberangkatan dari hasil perhitungan pada kegiatan tahap 1 atau pada tahap *loading* yang merupakan tempat yang paling sering terjadi antrian. Penjadwalan yang akan dibuat adalah simulasi penjadwalan kedatangan dan keberangkatan alat angkut yang ideal pada kegiatan pengupasan *overburden* dengan menggunakan *gantt chart*. Simulasi dilakukan dimana alat angkut berada pada area *loading,* dikarenakan lokasi tersebut yang memungkinkan untuk terjadinya antrian alat angkut atau *dump truck*. sedangkan pada tahap lainnya seperti pada saat *hauling* menuju disposal dan perjalanan kembali ke *front* secara teori matematis ada kemungkinan terjadinya Antri. Berikut merupakan simulasi penjadwalan ideal yang telah dibuat untuk jadwal keberangkatan dan kedatangan *dump truck* pada *front* tambang.



Gambar 5. 5 Simulasi penjadwalan ideal dengan *gantt chart* pada proses pengupasan *overburden*

Keterangan:

	Manuver loading
	Loading
	Menuju disposal
	Dumping
	Kembali kosong

Pada Gambar 5.5 diatas merupakan simulasi penjadwalan keberangkatan ideal pada kegiatan *overburden* yang dimana penyusunan jadwal keberangkatan ini berdasarkan waktu edar dari masing-masing *dump truck* dengan kondisi tanpa adanya hambatan atau antrian. Perubahan waktu ini terjadi karena pada saat pembuatan penjadwalan ini diperkirakan bahwa semua alat mekanis harus bekerja 100% dan tidak adanya waktu tunggu dan antri baik itu *dump truck* maupun excavator sehingga tidak ada waktu terbuang karena antrian pada saat pemuatan maupun pada saat membuang material di disposal. selain itu pengurangan waktu edar ini bisa dicapai apabila setiap *driver dump truck* menambah kecepatan manuver sehingga waktu edar dari alat angkut bisa sesuai dengan hasil penjadwalan tetapi tetap harus memperhatikan keselamatan.

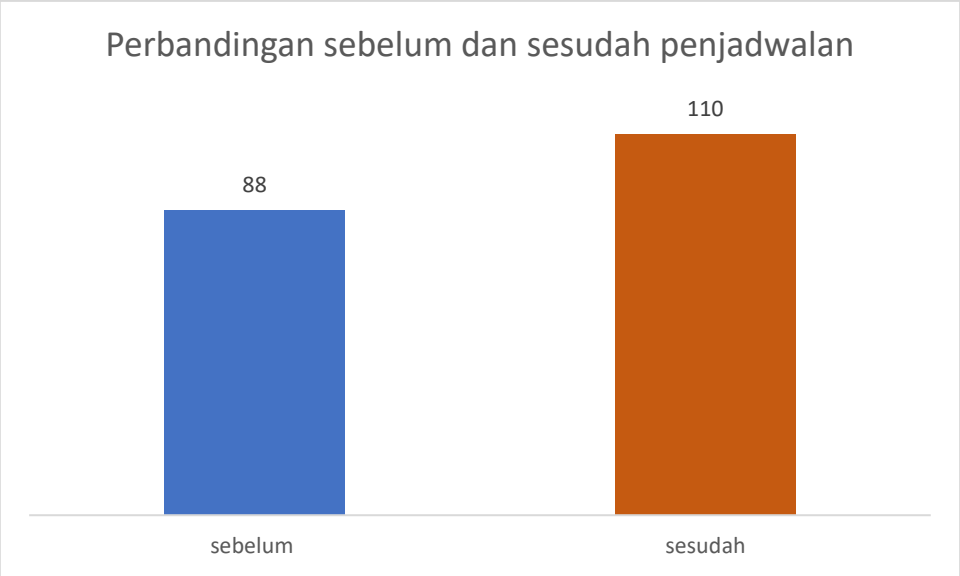
Penjadwalan keberangkatan dan kedatangan ini bertujuan untuk mengatur waktu keberangkatan dan kedatangan pada area *loading* sehingga arus perjalanan tiap alat angkut lebih terorganisir dan lancar. Dan perlu diketahui bahwa penjadwalan keberangkatan dan kedatangan yang ideal ini diasumsikan bahwa *driver*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

Dari penjadwalan yang telah dirancang tersebut jika diterapkan pada operasional maka tidak ada lagi waktu yang terbuang karena alat angkut harus mengantri. Selain itu penerapan jadwal kedatangan serta keberangkatan ini nantinya akan memperlancar arus alat angkut dan meningkatkan jumlah produksi dari alat angkut. Adapun jumlah produksi alat angut sesudah dilakukannya penjadwalan adalah sebagai berikut:

Tabel 5. 5 Kapasitas produksi setelah penjadwalan

Kapasitas produksi bcm/jam/4DT
110,976

Pada Tabel 5.5 kapasitas produksi yang dihasilkan setelah penjadwalan yang dilakukan adalah 110, 976 bcm/jam atau jika dibulatkan adalah 111 bcm/jam. Jika dibandingkan dengan produksi aktual dapat dilihat pada grafik berikut:

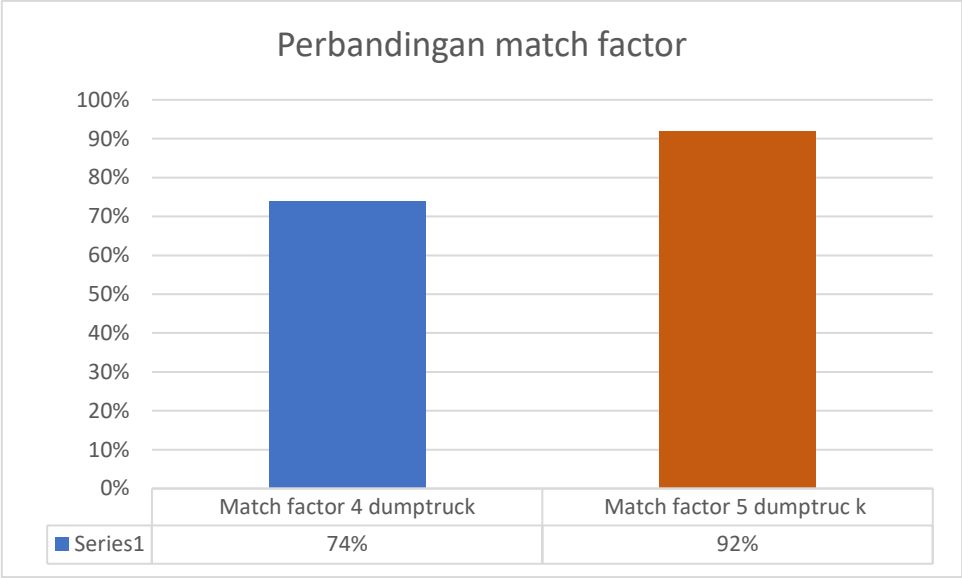


Gambar 5. 6 Perbandingan kapasitas produksi sebelum dan sesudah penjadwalan

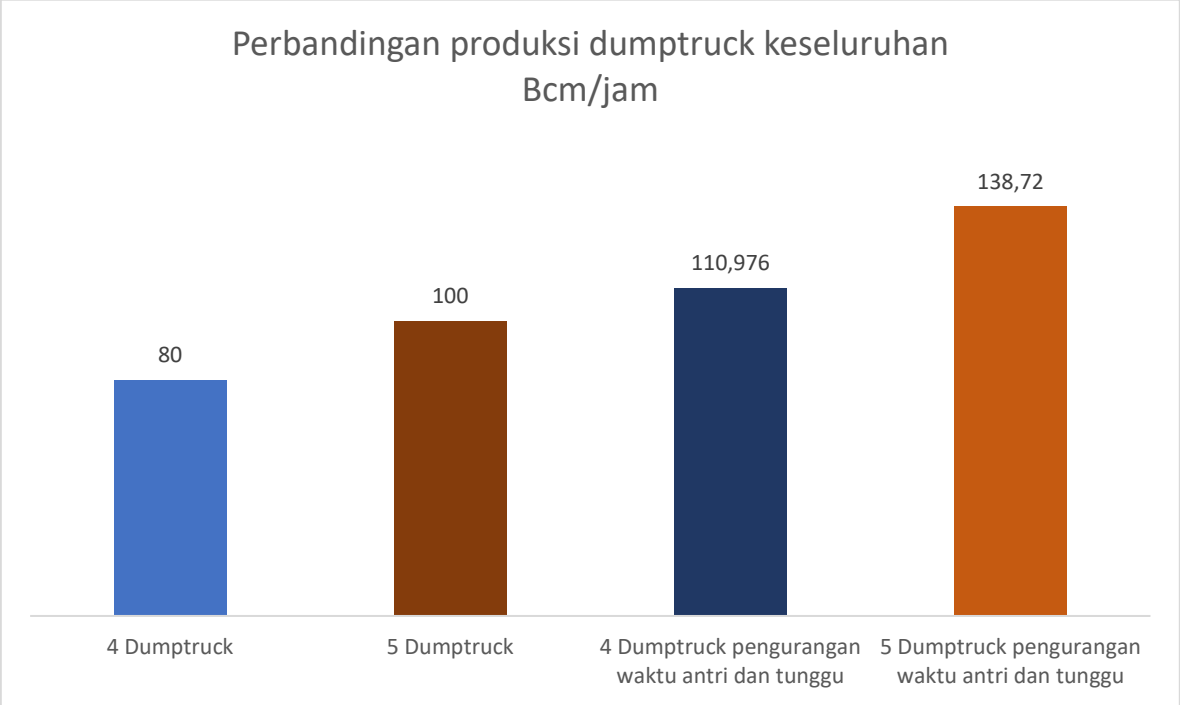
Dari Gambar 5.6 di atas dapat dilihat bahwa peningkatan produksi yang terjadi jika penjadwalan simulasi dilakukan serta menghilangkan waktu tunggu dari alat angkut yang telah dibuat dapat diterapkan serta menghilangkan waktu hambatan pada kegiatan pengupasan *overburden.* Kenaikan yang terjadi sebesar 25% dari sebelum adanya penjadwalan, ini menunjukkan dampak positif dari dilakukan penjadwalan dengan waktu yang sesuai.

5.5 Perbandingan *Match factor* dan produktivitas produksi

Perbandingan dari *match factor* dan produktivitas produksi penting dilakukan agar bisa melihat dampak dari perhitungan yang telah dilakukan untuk menentukan saran yang tepat untuk perusahaan meningkatkan kapasitas produksinya berikut adalah perbandingan yang ada:



Gambar 5. 7 Perbandingan *match factor* setelah penambahan



Gambar 5. 8 Perbandingan produksi 4 DT dan 5 DT

Dari perhitungan yang sudah dilakukan sebelumnya terdapat empat skenario operasional yang berbeda dengan hasil produktivitas yang bervariasi dalam satuan Bcm/jam. Dari grafik tersebut perbandingan produktivitas antara penggunaan aktual 4 unit *dump truck* dengan penambahan 1 *dump truck* hasil perhitungan dari teori antrian baik dengan waktu tunggu dan Antri, maupun tidak adanya waktu tunggu dan Antri

Dalam operasi dasar atau aktual tanpa pengaturan waktu khusus, penggunaan 4 unit *dump truck* menghasilkan produktivitas sebesar 80 bcm/jam. Dan ketika jumlah unit ditingkatkan menjadi 5 *dump truck* terjadi peningkatan produktivitas menjadi 100 Bcm/jam, menunjukkan peningkatan 25%. Namun jika keadaan aktual 4 *dump truck* tetapi waktu Antri dan waktu tunggu di minimalisir atau dihilangkan maka dari penerapan sistem pengaturan waktu berhasil meningkatkan produktivitas sebesar 38,72% menjadi 110,976 Bcm/jam. Pola tersebut sama pada penambahan 1 unit *dump truck* menjadi 5 unit *dump truck*, di mana implementasi sistem pengaturan waktu mendorong peningkatan dari 100 menjadi 138,72 Bcm/jam, dan mempertahankan persentase peningkatan yang konsisten sebesar 38,72%

Dari efesiensi operasional keseluruhan tersebut, skenario dengan penambahan 1 unit *dump truck* dengan pengaturan waktu Antri dan tunggu menunjukkan hasil terbaik dengan produktivitas mencapai 138,72 Bcm/jam. Dibandingkan dengan keadaan aktual menggunakan 4 unit *dump truck* tanpa pengaturan waktu, peningkatan total mencapai 73,4%. Hasil ini menunjukkan bahwa kombinasi antara penambahan unit dan optimasi waktu operasional dapat menghasilkan peningkatan yang substansial.

Sedangkan perbandingan *match factor* dengan penambahan 1 unit menunjukkan hasil 92% hal ini berarti peningkatan keserasian kerja dari *dump truck* dan excavator yang pada awalnya adalah 74% mengalami kenaikan.

BAB VI
PENUTUP

6.1 Kesimpulan

Berdasarkan penjelasan dan analisis yang telah dilakukan, maka kesimpulan yang didapat adalah sebagai berikut:

1. Produktivitas dari alat gali muat (excavator) dan alat angkut (*dump truk*) pada proses pengupasan *overburden* di PT maruco Indonesia belum efektif mengacu pada data pada produksi tahun sebelumnya dimana produksi yang dilakukan kurang dari target perusahaan. Hal ini disebabkan oleh *cycle time* dari alat mekanis yaitu excavator dalam memenuhi 1 kali siklus adalah 0,45 detik dan dan alat mekanis *dump truk* memiliki waktu siklus 21,70 yang membuat total keseluruhan waktu siklus adalah 22,15 menit. Dari hasil *cycle time* dilakukan perhitungan bahwa *match factor* atau keserasian kerja antara kedua alat mekanis belum maksimal karena menunjukkan angka 74% yang dapat diartikan excavator memiliki waktu *idle* untuk menunggu *dump truk* sampai di *front loading.*
2. Perhitungan dan analisis yang telah dilakukan dengan metode kapasitas produksi dan teori antrian diperoleh kebutuhan alat angkut yang optimal sebanyak 10 unit untuk metode kapasitas produksi, dan 5 unit untuk alat angkut optimal pada teori antrian. Jika dibandingkan diantara kedua metode tersebut yang tidak akan mengganggu keserasian kerja dari kedua alat mekanis adalah teori antrian karena dapat meningkatkan *match factor* menjadi 92%.
3. Rekomendasi yang tepat yang dapat diterapkan oleh perusahaan untuk meningkatkan produktivitas adalah dengan penambahan 1 unit *dump truck* pada proses pertambangan, menghilangkan waktu tunggu dan waktu antrian tang tidak perlu dengan menggunakan penjadwalan kedatangan dan keberangkatan pada *front* pertambangan dan memperhatikan aspek yang mempengaruhi produktivitas lainnya seperti lebar jalan, keahlian operator, pemeliharaan alat dan lainnya.

6.2 Saran

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, berikut ini saran yang diberikan oleh peneliti yaitu:

1. Untuk perusahaan

a. Pihak perusahaan dapat mempertimbangkan untuk pengaplikasian usulan yang telah diberikan agar dapat meningkatkan produktivitas dan produksi yang dapat dilakukan oleh alat mekanis sehingga tidak banyak waktu terbuang atau waktu tunggu yang menghambat proses produksi.

2. Untuk penelitian selanjutnya
   a. Penelitian selanjutnya dapat mempertimbangkan untuk menghitung pemakanan bahan bakar atau *fuel concumption* pada setiap alat mekanis, apakah bahan bakar juga mempengaruhi produktivitas dari setiap mekanis atau tidak.
   b. Penelitian selanjutnya dapat dilakukan dengan menghitung langsung 2 sift kerja yaitu siang dan malam untuk melakukan perbandingan produksi yang dilakukan pada 2 sift yang berbeda memiliki selisih produksi yang tinggi atau tidak serta apa faktor yang menyebabkan perbedaan produksi antar 2 sift.
   c. Pada penelitian ini *output* yang diberikan hanyalah berfokus pada melakukan optimalisasi produksi dengan penambahan jumlah *dump truk* untuk menyesuaikan produktivitas yang bisa dilakukan excavator dan penjadwalan keberangkatan dan kedatangan di *front* pertambangan, sehingga untuk penelitian kedepannya diharapkan untuk mengimplementasikan solusi yang diberikan langsung kepada perusahaan.
   d. Penggunaan metode pada penelitian selanjutnya yang bisa menjadi pertimbangan adalah penambahan *fishbone diagram*

DAFTAR PUSTAKA

Adha, H. R. (2023). ANALISIS KONSUMSI BAHAN BAKAR ALAT ANGKUT UD QUESTER CWE 370 DALAM KEGIATAN PENGANGKUTAN BIJIH NIKEL. *Indonesian Mining Professionals Journal*, *5*(1), 7–20. https://doi.org/10.36986/impj.v5i1.57

Andriansyah, A., & Wardono, H. (n.d.). *Prosiding Seminar Nasional Insinyur Profesional (SNIP) Seminar Nasional Insinyur Profesional (SNIP) Optimalisasi produktivitas pada kegiatan pengangkutan di lokasi Tambang Batubara*.

Andy EWijaya, R., & Bayurohman Pangacella, dan P. (2020). OPTIMALISASI PRODUKSI PADA PENAMBANGAN BATUBARA DI PT NATURAL ARTHA RESOURCESSIMPANG NIAM. In *MINING INSIGHT* (Vol. 01, Issue 02).

Atika, F., Putri, R., Institut,], Adhi, T., Surabaya, T., Arief, J., Hakim, R., & 100, N. (n.d.). *OPTIMALISASI PRODUKTIVITAS ALAT ANGKUT TAMBANG PASIR*.

Bakhtavar, E., Shahriar, K., & Oraee, K. (2009). Transition from open-pit to underground as a new optimization challenge in mining engineering. *Journal of Mining Science*, *45*(5), 485–494. https://doi.org/10.1007/s10913-009-0060-3

Basuki, W., & Oktavia, M. (2020). *PERHITUNGAN KEBUTUHAN UNIT DUMP TRUCK BERDASARKAN MATCH FACTOR DAN TEORI ANTRIAN PADA PENAMBANGAN BATUBARA DI PT. KAMALINDO SOMPURNA KECAMATAN PELAWAN KABUPATEN SAROLANGUN PROVINSI JAMBI*. *1*.

Ernawati, R., & Hadi, L. (2019). 845-2260-1-SM. *PROSIDING, Seminar Teknologi Kebumian Dan Kelautan I (SEMITAN I) 2019*.

Gievani Wahono, J., Dwi Galih Cahyono, Y., Teknik Pertambangan, J., Teknologi Adhi Tama Surabaya Alamat, I., & Arief Rahman Hakim, J. (n.d.). *PASURUAN PROV. JAWA TIMUR*.

Graselia Sahuleka, G., & Sugito, B. (2022). ANALISIS PRODUKTIVITAS EXCAVATOR DAN *DUMP TRUCK* PADA PROSES PENGISIAN TONGKANG DI PT.XYZ. In *Grace Graselia Sahuleka, SNTEM* (Vol. 2).

Handy Dwi Adityawan, M., & Minmahddun, A. (2023a). Analisis Produktivitas Alat Berat Pekerjaan Lapis Pondasi Atas (LPA) (Studi Kasus Jalan Poros Ruas Bungi-Sora Wolio Kota Bau-Bau). In *JurnalMedia Konstruksi* (Vol. 8, Issue 1).

Handy Dwi Adityawan, M., & Minmahddun, A. (2023b). Analisis Produktivitas Alat Berat Pekerjaan Lapis Pondasi Atas (LPA) (Studi Kasus Jalan Poros Ruas Bungi-Sora Wolio Kota Bau-Bau). In *JurnalMedia Konstruksi* (Vol. 8, Issue 1).

Indra Nuryanneti, Sarmidi, & Fajar Ardana. (2024a). Kajian dan Analisis Produktivitas Alat Excavator Komatsu PC 500 dan *Dump truck* Mercy A48x45k Pada Penambangan Batubara Banko 1 Di Area Kerja PIT 1 PPA, Site Banko Barat PT. Bukit Asam, Tbk. *Jurnal Ilmiah Teknik Dan Sains*, *1*(3), 126–133. https://doi.org/10.62278/jits.v1i3.23

Indra Nuryanneti, Sarmidi, & Fajar Ardana. (2024b). Kajian dan Analisis Produktivitas Alat Excavator Komatsu PC 500 dan *Dump truck* Mercy A48x45k Pada Penambangan Batubara Banko 1 Di Area Kerja PIT 1 PPA, Site Banko Barat PT. Bukit Asam, Tbk. *Jurnal Ilmiah Teknik Dan Sains*, *1*(3), 126–133. https://doi.org/10.62278/jits.v1i3.23

Komariah, J. U. I. R. A. G. A. U. I., & Jig |, S. T. (2019). *PENGUKURAN PRODUKTIVITAS LANTAI PRODUKSI MENGGUNAKAN METODE OBJECTIVE MATRIX (OMAX) DI PT. XYZ* (Vol. 1, Issue 1).

Lestari, T., Nurhakim, N., & Riswan, R. (2019). APLIKASI TEORI ANTRIAN DALAM PENENTUAN KEBUTUHAN ALAT ANGKUT UNTUK PENCAPAIAN TARGET

PEMINDAHAN *OVERBURDEN* DI PT RIMAU ENERGI MINING. *Jurnal Himasapta*, *4*(2). https://doi.org/10.20527/jhs.v4i2.1069

Magdalena, H., Nugroho, W., Hasan, H., Litha Respati, L.(2023), Studi, P. S., Pertambangan, T., Teknik, F., Mulawarman Jl Kuaro, U., Kelua, G., Samarinda Ulu, K., Samarinda, K., & Timur, K. (n.d.). Studi Perhitungan Biaya pada Kegiatan Pengupasan *Overburden* pada PIT 5 PT. Indochin Resources Jobsite PT. Energi Cahaya Industritama (Cost Calculation Study On *Overburden* Removal Activities At Pit 5 Pt. Indochin Resources Jobsite Pt. Industritama Light Energy). In *Journal of Media, Sciences and Education* (Vol. 2).

Maiyudi, R., & Suryanita, S. (2023). Kajian Produktivitas dan Keserasian Alat Gali Muat dengan Alat Angkut pada Kegiatan Coal Getting di Seam 5 Pit Granit Extend. *Jurnal Bina Tambang*, *8*(1).

Mariki, I. W. W., Arpilanoor, D., & Heldayanti. (2021). ANALISA PRODUKTIVITAS EXCAVATOR KOMATSU PC 2000 PADA OVERBURDER REMOVAL DI PT. JHONLIN BARATAMA. *Scientific Journal of Mechanical Engineering Kinematika*, *6*(2), 107–118. https://doi.org/10.20527/sjmekinematika.v6i2.194

Mossa, J., & James, L. A. (2013). Impacts of Mining on Geomorphic Systems. In *Treatise on Geomorphology: Volume 1-14* (Vols. 1–14, pp. 74–95). Elsevier. https://doi.org/10.1016/B978-0-12-374739-6.00344-4

Nugroho, A. (2024). Analisis Teori Antrian dan Optimalisasi Pelayanan Pada Watsons Cabang Bendungan Hillir Menggunakan Model Singel Channel-Single Phase. *Jurnal Administrasi Bisnis Terapan*, *6*(2). https://doi.org/10.7454/jabt.v6i2.1091

Putri, A., Hidayati, D., Satria Permana, I., & Oktavia, M. (n.d.). *OPTIMASI ALAT GALI MUAT DAN ALAT ANGKUT MENGGUNAKAN METODE TEORI ANTRIAN DAN KAPASITAS PRODUKSI PADA KEGIATAN COAL GETTING DI PT NATURAL ARTHA RESOURCE*. http://ojs.umb-bungo.ac.id/

Rafif, M., Rahardi, G., & Yulhendra, D. (n.d.). RANCANGAN SEQUENCE PENAMBANGAN TAMBANG TERBUKA GUNA MENCAPAI TARGET PRODUKSI TRIWULAN TAHUN 2024 PT PENGEMBANGAN INVESTASI RIAU SITE BATANG PERANAP KABUPATEN INDRAGIRI HULU PROVINSI RIAU. *Jurnal Bina Tambang*, *8*(2).

Sa Putra, A., L. D. J Usup, H., & Noveriady. (2023). Analisis Kemajuan Tambang Terhadap Perancangan Mine Plan pada Aktivitas *Overburden removal. Jurnal Riset Teknik Pertambangan*, 157–166. https://doi.org/10.29313/jrtp.v3i2.3077

Sarmidi, Indra Nuryanneti, & Rego Dwi Prayoga. (2023). Evaluasi Produktivitas Alat Gali Muat Excavator Volvo 480 dan Alat Angkut *Dump truck* Volvo 400 Pada Penambangan Batubara Di PIT 2 Tambang Banko Barat PT. Bukit Asam Tbk. *Jurnal Ilmiah Teknik Dan Sains*, *1*(2), 53–60. https://doi.org/10.62278/jits.v1i2.11

Siagian, T. A., Leksono, V. A., Vridayani, N. :, & Leksono, A. (n.d.). Peningkatan Produktivitas pada Proses Building Tyre Menggunakan Work Sampling Method (Studi Kasus: PT. PN Balikpapan). *JOURNAL OF INDUSTRIAL INNOVATION AND SAFETY ENGINEERING*, *01*. https://doi.org/10.35718/jinseng

Yuni Octavia, G., Yosomulyono, S., Herlambang, Y., Teknik Pertambangan, J., & Tanjungpura, U. (n.d.). *PENERAPAN TEORI ANTRIAN PADA SISTEM PRODUKSI ALAT MUAT DAN ALAT ANGKUT DI TAMBANG ANDESIT PT. BUKIT LABU MINING*.

Irfandy, A., Triantoro, A., & Melati, S. (2021). *Analisis coal losses pada kegiatan penambangan di pit Inul Middle Panel 3 PT Kaltim Prima Coal.* Jurnal Himasapta.

Maskuriah, U. (2018, 10). *Antara kalsel*. Retrieved from Telaah - Perjuangan Kalsel melepaskan diri dari jeratan tambang:

https://kalsel.antaranews.com/berita/73478/telaah-perjuangan-kalsel-melepaskan-diri-dari-jeratan-tambang

Nugroho, R. A., & Kartikasari, D. (2024). *Analisis T Analisis Teori Antrian dan Optimalisasi P eori Antrian dan Optimalisasi Pelayanan Pada Watsons Cabang Bendungan Hillir Menggunakan Model Singel Channel-Single chase* (Vol. 6). Jurnal administrasi bisnis terapan.

Prasmoro, A. V., & Hasibuan, S. (2018). *OPTIMASI KEMAMPUAN PRODUKSI ALAT BERAT DALAM RANGKA PRODUKTIFITAS DAN KEBERLANJUTAN BISNIS PERTAMBANGAN BATUBARA: STUDI KASUS AREA PERTAMBANGAN KALIMANTAN TIMUR.*

Wahyuni, H. C. (2017). *Buku Ajar Produktivtias* . Sidoarjo: UMSIDA PRESS.

Zhafiraah, J. (2018). *BAGAN ALUR PROSES PENGOLAHAN BATUBARA*. Retrieved from Academia.edu: https://www.academia.edu/6302478/BAGAN_ALUR_PROSES_PENGOLAHAN_BATUBARA

LAMPIRAN

Excavator Komatsu PC-400					
No	**Digging**	**Swing Load**	**Passing**	**Swing kosong**	**total waktu**
1	19,77	18,58	7,23	14,7	60,28
2	19,51	18,46	6,45	15,61	60,03
3	20,26	17,54	7,56	16,29	61,65
4	17,51	17,64	7,21	16,45	58,81
5	19,46	18,12	7,86	15,68	61,11
6	24,94	17,25	6,23	15,54	63,96
7	22,25	18,83	7,82	17,31	66,21
8	19,98	18,22	6,89	16,52	61,61
9	23,56	18,84	6,18	16,38	64,95
10	19,64	17,38	6,78	17,16	60,96
11	19,66	17,19	7,24	16,56	60,65
12	22,43	17,47	7,67	16,3	63,88
13	18,33	17,28	6,34	15,59	57,54
14	18,77	17,71	6,76	16,26	59,51
15	23,06	18,30	6,06	17,23	64,65
16	22,39	17,88	6,22	14,96	61,45
17	19,25	18,89	6,37	15,5	60,01
18	15,09	17,84	6,24	15,87	55,03
19	16,39	17,38	7,36	16,72	57,85
20	22,51	17,06	7,32	16,92	63,81
21	24,27	18,38	6,03	15,38	64,06
22	21,16	17,59	6,63	15,86	61,24
23	20,47	18,62	7,55	16,56	63,20
24	22	17,72	6,27	15,82	61,81
25	21,16	17,59	7,74	15,67	62,16
26	21,83	17,29	6,09	15,83	61,04
27	23,19	18,13	6,52	15,9	63,74
28	19,96	18,52	7,26	17,14	62,88
29	18,97	18,20	7,60	16,92	61,69
30	23,98	18,06	7,74	17,16	66,94
31	20,63	17,74	6,80	15,35	60,52
32	21,67	17,31	6,62	17,4	63,00
33	20,75	17,30	7,38	16,16	61,59
34	16,52	17,49	7,45	17,33	58,79
35	18,99	18,61	7,78	17,36	62,74
36	20,18	17,42	6,79	15,92	60,32
37	20,97	18,35	6,52	16,21	62,05
38	20,29	18,74	7,41	15,95	62,39
39	22,65	17,80	6,28	16,61	63,34
40	22,37	17,87	6,59	16,12	62,95
41	18,94	17,10	7,24	16,36	59,64
42	20,53	17,66	6,73	16,62	61,54
43	18,71	18,66	6,84	15,67	59,87

44	20,72	18,28	7,24	16,92	63,15
45	15,8	17,11	6,34	16,41	55,66
46	17,69	18,55	6,38	16,24	58,86
47	18,86	18,51	6,14	15,24	58,75
48	16,31	18,26	6,17	15,61	56,35
49	19,89	17,05	6,52	16,27	59,73
50	19,95	18,07	7,19	16,03	61,24



tanggal 1 Februari 2024 jarak 500M

no	no unit	07.00	08.00	09.00	10.00	11.00	12.00	13.00	14.00	15.00	16.00	17.00
1	DT-007	43	4 10 26 40	2 18 34 50	6 24 32 49	6 27 42	3 20 38 55	istirahat	13 31 36 49	9 23 42	8 24 35	shift berakhir

tanggal 2 Februari 2024 jarak 500M

no	no unit	07.00	08.00	09.00	10.00	11.00	12.00	13.00	14.00	15.00	16.00	17.00
1	DT-007		7 28 42	8 24 46	2 24 45	2 26 48	5 22 38 55	istirahat	7 25 33 50	8 26 44	2 20 35 52	shift berakhir

tanggal 3 Februari 2024 jarak 500M

no	no unit	07.00	08.00	09.00	10.00	11.00	12.00	13.00	14.00	15.00	16.00	17.00
1	DT-007	WEEKEND										

tanggal 4 Februari 2024 jarak 500M

no	no unit	07.00	08.00	09.00	10.00	11.00	12.00	13.00	14.00	15.00	16.00	17.00
1	DT-007	BREAKDOWN										

tanggal 5 Februari 2024 jarak 500M

no	no unit	07.00	08.00	09.00	10.00	11.00	12.00	13.00	14.00	15.00	16.00	17.00
1	DT-007	BREAKDOWN										

tanggal 6 Februari 2024 jarak 500M

no	no unit	07.00	08.00	09.00	10.00	11.00	12.00	13.00	14.00	15.00	16.00	17.00
1	DT-007	45	5 30 44	2 23 40 55	16 38 55	15 32 50	5 20 37 56	istirahat	17 32 50	6 22 39 55	12 29 44	shift berakhir

tanggal 7 Februari 2024 jarak 500M

no	no unit	07.00	08.00	09.00	10.00	11.00	12.00	13.00	14.00	15.00	16.00	17.00
1	DT-007	20 36	7 19 38 55	15 32 50	8 25 44 58	15 30 47	5 23	istirahat	8 25 40	5 30 46	3 25 41	shift berakhir



