

**KAJIAN PRODUKTIVITAS ALAT *BACKHOE*
HITACHI EX- 3600 DAN DUMP TRUCK CATERPILLAR 785C
PADA PENGUPASAN TANAH PENUTUP DI PIT C, PT
MADHANI TALATAH NUSANTARA *JOBSITE* KPC
KUTAI TIMUR, KALIMANTAN TIMUR**

SKRIPSI

**Oleh:
AKHMAD FAISAL
112200028**



**PROGRAM SARJANA
PROGRAM STUDI TEKNIK PERTAMBANGAN
JURUSAN TEKNIK PERTAMBANGAN
FAKULTAS TEKNOLOGI MINERAL DAN ENERGI
UNIVERSITAS PEMBANGUNAN NASIONAL “VETERAN”
YOGYAKARTA
2024**

**KAJIAN PRODUKTIVITAS ALAT *BACKHOE*
HITACHI EX- 3600 DAN DUMP TRUCK CATERPILLAR 785C
PADA PENGUPASAN TANAH PENUTUP DI PIT C, PT
MADHANI TALATAH NUSANTARA *JOBSITE* KPC
KUTAI TIMUR, KALIMANTAN TIMUR**

SKRIPSI

Disusun sebagai salah satu syarat memperoleh gelar sarjana Teknik dari
Universitas Pembangunan Nasional “Veteran” Yogyakarta

**Oleh:
AKHMAD FAISAL
112200028**



**PROGRAM SARJANA
PROGRAM STUDI TEKNIK PERTAMBANGAN
JURUSAN TEKNIK PERTAMBANGAN
FAKULTAS TEKNOLOGI MINERAL DAN ENERGI
UNIVERSITAS PEMBANGUNAN NASIONAL “VETERAN”
YOGYAKARTA
2024**

**KAJIAN PRODUKTIVITAS ALAT *BACKHOE*
HITACHI EX- 3600 DAN ALAT ANGKUT DT CATERPILLAR
785C PADA PENGUPASAN TANAH PENUTUP DI PIT C, PT
MADHANI TALATAH NUSANTARA *JOBSITE* KPC
KUTAI TIMUR, KALIMANTAN TIMUR**

Oleh:

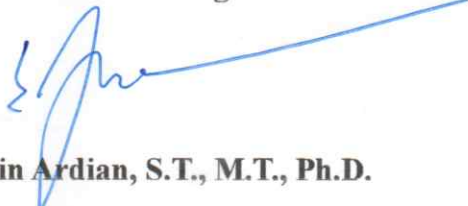
**Akhmad Faisal
112200028**



Disetujui untuk
Program Sarjana
Program Studi Teknik Pertambangan
Jurusan Teknik Pertambangan
Fakultas Teknologi Mineral dan Energi
Universitas Pembangunan Nasional "Veteran" Yogyakarta

Tanggal: 23/8 - 29.....

Pembimbing



Ir. Aldin Ardian, S.T., M.T., Ph.D.

**KAJIAN PRODUKTIVITAS ALAT *BACKHOE*
HITACHI EX- 3600 DAN DUMP TRUCK CATERPILLAR 785C
PADA PENGUPASAN TANAH PENUTUP DI PIT C, PT
MADHANI TALATAH NUSANTARA *JOBSITE* KPC
KUTAI TIMUR, KALIMANTAN TIMUR**

Oleh:

**Akhmad Faisal
112200028**



Disetujui untuk
Program Sarjana
Program Studi Teknik Pertambangan
Jurusan Teknik Pertambangan
Fakultas Teknologi Mineral dan Energi
Universitas Pembangunan Nasional “Veteran” Yogyakarta
Tanggal:.....

Pembimbing

Ir. Aldin Ardian, S.T., M.T., Ph.D.

HALAMAN PERSEMBAHAN

“Sesungguhnya bersama kesulitan ada kemudahan. Maka apabila engkau telah selesai (dari sesuatu urusan), tetaplah bekerja keras (untuk urusan yang lain). Dan hanya kepada Tuhanmulah engkau berharap.” (QS. Al-Insyirah: 6-8),

“Lika liku kehidupan merupakan pengalaman yang mengajarkan banyak hal. Keimanan, Keihlanan, Keikhlasan, Kesabaran dan Keikhtiaran adalah pilar yang harus di tanamkan dalam menjalani kehidupan. Terus selalu berproses untuk menjadi orang yang lebih baik dari hari kemarin dan terus berusaha menjadi orang yang bisa bermanfaat bagi orang lain” (Akhmad Faisal)

“Yakin lah Allah SWT lebih mengetahui dari apa yang tidak engkau ketahui” (QS. Al-Baqarah: 216)

Dengan mengucapkan rasa syukur atas segala nikmat dari Allah SWT skripsi ini saya persembahkan kepada:

Ayah saya Herman, Ibu saya Yeyet Nurhayati, Abang saya Muhammad Ibnu Shaleh, dan Kedua adik saya Najma Putri dan Muhammad Iqbal yang sangat saya cintai. Terimakasih atas kasih sayang, pengorbanan, dan dukungan yang diberikan. Semoga Allah SWT membalas segala kebaikan yang telah diberikan dan semoga sehat-sehat selalu. Aamiin Ya Rabbal Alamin.

RINGKASAN

PT Madhani Talatah Nusantara (MTN) merupakan perusahaan yang berkegiatan sebagai kontraktor pertambangan batubara yang melakukan kerjasamanya dengan beberapa perusahaan tambang batubara yang ada di Indonesia. Penelitian ini dilakukan pada lokasi Wilayah Izin Usaha Pertambangan PT Kaltim Prima Coal (KPC) yang terletak di Desa Keraitan, Kecamatan Bengalon, Kabupaten Kutai Timur, Provinsi Kalimantan Timur

Kegiatan operasi penambangan di PT MTN *jobsite* KPC menggunakan sistem tambang terbuka dengan metode *open pit*. Kegiatan tersebut dilakukan dengan alat *Backhoe* Hitachi Ex-3600 dan alat angkut DT Caterpillar 785C. Alat *Backhoe* Hitachi Ex-3600 yang memiliki target produktivitas 1.350 BCM/jam dan per-unit alat angkut Caterpillar 785C 114 BCM/jam dengan jarak ke disposal 4,1 km. Namun untuk secara historis pada bulan April belum memenuhi dari target produktivitas alat-gali muat dan alat angkut yaitu sebesar 1.330 BCM/jam dan 104 BCM/jam per unit. Faktor penyebab tidak tercapainya target produktivitas alat gali-muat dan alat angkut yaitu terdapat lebar segmen jalan angkut lurus D-E, F-G, *grade* jalan pada segmen H-I, radius tikungan pada segmen A-B dan I-J, superelevasi pada segmen A-B dan I-J yang belum memenuhi standar perusahaan, efisiensi kerja alat yang masih rendah dikarenakan *delay time*, dan waktu edar alat angkut yang tidak sesuai disebabkan kecepatan rata-rata alat angkut yang belum memenuhi target perusahaan yaitu 24 km/jam.

Upaya peningkatan produktivitas kerja alat gali-muat dan alat angkut dilakukan dengan melakukan perbaikan pada lebar jalan lurus minimal 24 m di segmen D-E, F-G, memperbaiki *grade* jalan pada segmen H-I sehingga tidak melebihi 8%, merekomendasikan radius tikungan minimal 9,56 m, dan merekomendasikan superelevasi sebesar 1,3 m/m serta melakukan perbaikan efisiensi kerja alat angkut dengan cara penjadwalan pengisian bahan bakar sehingga tidak terjadi 2 unit melakukan pengisian bahan bakar dalam 1 jam. Setelah dilakukan upaya perbaikan, efisiensi kerja alat gali-muat meningkat menjadi 80% dan produktivitasnya sebesar 1.427,09 BCM/jam. Untuk alat angkut efisiensi kerjanya meningkat menjadi 75% dan produktivitasnya menjadi 116,11 BCM/jam per unit.

SUMAMRY

PT Madhani Talatah Nusantara (MTN) is a coal mining service company. The business is conducted by providing overburden (OB) dan coal mining activity and its support. One of the MTN's clients is PT Kaltim Prima Coal, which is located in Keraitan Village, Bengalon District, East Kutai Regency, East Kalimantan Province. The project is also called Bengalon Coal Project (BCP) and it uses an open pit method. The operation at BCP utilizes Hitachi Ex-3600 backhoe and a DT Caterpillar 785C dump trucks. The OB productivity target by Hitachi Ex-3600 backhoe by 1,350 BCM/hour, and by DT Caterpillar 785C of 114 BCM/hour. The distance between mining area and the disposal area was 4.1 km. However, historically, the productivity in april of the excavator and the dump trucks were 1,330 BCM/hour and 104 BCM/hour per unit; respectively. These unmet productivity was due to the (i) road width at segments D-E and F-G, (ii) the grade of the road at segment H-I, (iii) the turning radius at segments A-B and I-J (iv)superelevation at segments A-B and I-J, (v) low equipment work efficiency, and (vi) the dump truck cycle time. As a result, some adjustments on those problems were solved: (i) The road at D-E and F-G segment were widened to at least 24 m, (ii) modifying the road grade in segment H-I to lower than 8%, (iii) recommending at minimum turning radius of 9,56 m, recommending a super-elevation of 1,3 m/m, and improving the efficiency of the hauling equipment include scheduling fuel refills to prevent two units from refueling within the same hour. After these improvements, the work efficiency and the productivity of excavator increased to 80% and 1,427,09 BCM/hour; respectively. The efficiency and the productivity of the dump trucks increased to 75% and 116,11 BCM/hour per unit; respectively.

KATA PENGANTAR

Puji syukur dipanjatkan ke hadirat Allah SWT. Tuhan Yang Maha Esa atas limpahan rahmat dan karunia-Nya sehingga peneliti dapat menyelesaikan penyusunan skripsi yang berjudul “Kajian Produktivitas Alat *Backhoe* Hitachi Ex-3600 dan *Dump Truck* Caterpillar 785C pada Pengupasan Tanah Penutup di Pit C, PT Madhani Talatah Nusantara *Jobsite* KPC, Kutai Timur, Kalimantan Timur” dengan baik. Tujuan skripsi ini disusun sebagai syarat untuk memperoleh gelar sarjana. Skripsi ini disusun berdasarkan penelitian yang dilakukan di lokasi tambang batubara PT. Madhani Talatah Nusantara, Provinsi Kalimantan Timur pada tanggal 8 Mei 2024 sampai dengan 22 Juni 2024.

Atas selesainya penyusunan skripsi ini, penyusun mengucapkan terima kasih kepada:

1. Bapak Prof. Dr. Mohamad Irhas Effendi, M.Si., Rektor Universitas Pembangunan Nasional “Veteran” Yogyakarta.
2. Bapak Dr. Ir. RM. Basuki Rahmad, M.T., Dekan Fakultas Teknologi Mineral dan Energi.
3. Ibu Dr. Ir. Rika Ernawati, S.t, M.Si., Ketua Jurusan Teknik Pertambangan.
4. Ir. Bapak Oktarian Wisnu Lusanto, S.T., M.Eng., IPP., Koordinator Program Studi Sarjana Teknik Pertambangan.
5. Bapak Ir. Aldin Ardian S.T., M.T., Ph.D., Sebagai Dosen Pembimbing.
6. Ibu Ir. Wawong Dwi Ratminah, M.T., Dosen Pembahas I.
7. Ibu Ir. Shenny Linggasari S.T., M.T., Dosen Pembahas II.
8. Bapak Dr. Ir. Eddy Winarno, S.Si. M.T., Dosen Pembahas III.
9. Bapak Afriyanto sebagai pembimbing lapangan dan keluarga PT. MTN 052C.

Semoga Skripsi ini bermanfaat bagi perkembangan ilmu pengetahuan, khususnya di bidang pertambangan.

Yogyakarta, 23 Juni 2024

Penyusun

(Akhmad Faisal)

DAFTAR ISI

	Halaman
RINGKASAN.....	v
SUMMARY	vi
KATA PENGANTAR.....	vii
DAFTAR ISI	viii
DAFTAR GAMBAR	x
DAFTAR TABEL.....	xi
DAFTAR LAMPIRAN	xii
BAB	
I PENDAHULUAN	
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Rumusan Masalah	1
1.3. Tujuan Penelitian.....	2
1.4. Batasan Masalah.....	2
1.5. Metode Penelitian.....	2
1.6. Manfaat Penelitian.....	5
II TINJAUAN UMUM	
2.1. Lokasi dan Kesampaian Daerah.....	6
2.3. Tinjauan Geologi	8
2.4. Kegiatan Penambangan PT. MTN <i>Site</i> KPC	10
III DASAR TEORI	
3.1. Sifat Fisik Material.....	12
3.2. Faktor Pengisian Mangkuk (<i>Bucket Fill Factor</i>)	13
3.3. Front Penambangan.....	13
3.4. Waktu Edar (<i>Cycle Time</i>).....	14
3.5. Geometri dan Kondisi Jalan Angkut	18
3.6. Efisiensi Kerja	22
3.8. Kemampuan Produksi Alat Mekanis.....	23
IV HASIL PENELITIAN	
4.1. Tinjauan Lokasi Penambangan.....	26
4.2. Sifat Fisik Tanah Penutup.....	27
4.3. Pola Pemuatan	28
4.4. Geometri Jalan Angkut.....	30
4.4. Waktu Edar (<i>Cycle Time</i>).....	30

4.5. Hasil Uji Statistika	30
4.6. Efisiensi Kerja	33
4.7. Produktivitas Alat Mekanis	33
V PEMBAHASAN	
5.1. Kemampuan Produktivitas Alat Gali-Muat dan Alat Angkut.....	35
5.2. Analisis Faktor Penghambat Produksi.....	35
5.3. Upaya Peningkatan Produktivitas Alat.....	38
VI KESIMPULAN	
6.1. Kesimpulan.....	41
6.2. Saran.....	42
DAFTAR PUSTAKA	43
LAMPIRAN.....	44

DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
1.1. Tahapan Penelitian	4
2.1. Peta Kesampaian Daerah.....	7
2.2. Morfologi Daerah Penelitian.....	8
2.3. Stratigrafi Daerah Bengalon.....	9
2.4. Proses Pemuatan Alat <i>Backhoe</i> Hitachi EX-3600	10
2.5. Proses Pengangkutan angkut DT Caterpillar 785C.....	11
2.6. Proses Pemuatan Batubara oleh Alat Komatsu PC 800-7SE.....	11
3.1. Dimensi <i>Front</i> penambangan.....	13
3.2. Pola Pemuatan <i>Top Loading</i>	16
3.2. Pola Pemuatan <i>Bottom Loading</i>	16
3.3. Pola Pemuatan (a) <i>Single Buck Up</i> dan (b) <i>Double Back Up</i>	17
3.4. Pola Pemuatan (a) <i>Frontal Cut</i> dan (<i>Paralel Cut With Drive-by</i>	17
3.5. Penampang Melintang Rancangan Jalan Angkut dengan Dua Jalur.....	18
3.6. Lebar Jalan Angkut pada Tikungan untuk Dua Jalur	29
3.7. Kemiringan pada Jalan Lurus	20
4.1. Peta Lokasi Penambangan	26
4.2. Kondisi <i>Front</i> Penambangan.....	27
4.3. Kondisi Jalan Angkut.....	27
4.4. Pola Pemuatan <i>Top Loading</i> dengan Teknik <i>Single Back Up</i>	29
4.5. Pola Pemuatan <i>Top Loading</i> dengan Teknik <i>Double Back Up</i>	29

DAFTAR TABEL

Gambar	Halaman
4.1. Geometri Lebar Jalan Angkut	30
4.2. Geometri Kemiringan Jalan Angkut.....	31
4.3. Jari-jari Tikungan Aktual	31
4.4. Superelevasi Aktual.....	31
4.3.Perhitungan <i>Cross Slope</i>	32
4.4. <i>Delay Time</i> Alat Gali-Muat dan Alat Angkut.....	33
4.5. Kemampuan Produktivitas Alat Gali-Muat dan Alat Angkut	33
4.6. Hasil <i>Match Factor</i>	34
5.1. Rekomendasi Radius Tikungan.....	38
5.2. Rekomendasi Superelevasi.....	39
5.3 Perbandingan Produktivitas Sebelum dan Setelah dilakukan Perbaikan.....	40

DAFTAR LAMPIRAN

Gambar	Halaman
A. SPESIFIKASI ALAT GALI-MUAT	45
B. SPESIFIKASI ALAT ANGKUT	47
C. FAKTOR PENGISIAN MANGKUK	49
D. LEBAR MINIMUM <i>FRONT</i> PENAMBANGAN	51
E. GEOMETRI JALAN ANGKUT	52
F. WAKTU EDAR ALAT GALI-MUAT	57
G. WAKTU EDAR ALAT ANGKUT	59
H. EFISIENSI KERJA ALAT GALI-MUAT	61
I. EFISIENSI KERJA ALAT GALI-MUAT	62
J. KONSUMSI BAHAN BAKAR.....	63
K. PRODUKTIVITAS ALAT GALI-MUAT	65
L. PRODUKTIVITAS ALAT ANGKUT.....	66
M. <i>MATCH FACTOR</i>	67
N. PERBAIKAN WAKTU EDAR ALAT ANGKUT	68
O. PERBAIKAN EFISIENSI KERJA ALAT ANGKUT DAN ALAT GALI- MUAT.....	69
P. PRODUKTIVITAS ALATT MUAT SETELAH DILAKUKAN PERBAIKAN	70
Q. PRODUKTIVITAS ALAT ANGKUT SETELAH DILAKUKAN PERBAIKAN	71

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

PT. Madhani Talatah Nusantara (PT. MTN) adalah perusahaan yang berkegiatan sebagai pertambangan batubara di Indonesia. Pada penelitian ini PT MTN merupakan kontraktor dari perusahaan PT. Darma Henwa (DH) yang beroperasi pada Wilayah Izin Usaha Pertambangan PT Kaltim Prima Coal (KPC) yang terletak di Desa Keraitan, Kecamatan Bengalon, Kabupaten Kutai Timur, Provinsi Kalimantan Timur.

Lokasi Penelitian dilakukan di *Pit C jobsite* KPC dengan luas 228,19 Ha. Metode penambangan yang diterapkan adalah tambang terbuka dengan metode *open pit*. Sebelum memulai penambangan batubara, langkah awal yang harus dilakukan adalah kegiatan pengupasan tanah pucuk (*top soil*) dan lapisan tanah penutup (*overburden*).

Pada penelitian ini difokuskan pada kegiatan pengupasan *overburden* yang dilakukan menggunakan alat *Backhoe* Hitachi EX-3600 dan alat angkut DT Caterpillar 785C. Target produktivitas untuk alat *Backhoe* Hitachi EX-3600 sebesar 1.350 BCM/jam dan untuk DT Caterpillar 785C sebesar 114 BCM/jam per unit, dengan jarak 4,1 Km. Namun aktualnya produktivitas pada bulan April untuk alat gali-muat sebesar 1.330 BCM/jam dan alat angkut 104 BCM/jam per unit, sehingga target produktivitas yang diinginkan oleh perusahaan belum dapat tercapai. Oleh karena itu perlu dilakukan kajian terhadap kerja alat gali-muat dan alat angkut agar produktivitas pada bulan Mei dan seterusnya dapat tercapai.

1.2. Rumusan Masalah

Dalam penelitian ini, terdapat rumusan masalah sebagai berikut:

1. Bagaimana tingkat ketercapaian terhadap target produktivitas dari alat gali-muat dan alat angkut pada bulan Mei dalam kegiatan pengupasan *overburden*?

2. Apa saja faktor-faktor yang menyebabkan tidak tercapainya target produktivitas alat gali-muat dan alat angkut pada pengupasan *overburden* ?
3. Bagaimana upaya yang dilakukan dalam meningkatkan produktivitas alat gali-muat dan alat angkut pengupasan *overburden*?

1.3.Tujuan Penelitian

Penelitian ini bertujuan untuk:

1. Menghitung kemampuan produktivitas alat gali-muat dan alat angkut dibulan Mei pada pengupasan *overburden*.
2. Mengidentifikasi faktor-faktor yang mempengaruhi belum tercapainya sasaran produktivitas alat gali-muat dan alat angkut pada pengupasan *overburden*.
3. Memberikan rekomendasi perbaikan untuk meningkatkan produktivitas alat gali-muat dan alat angkut agar target produktivitas dapat tercapai.

1.4.Batasan Masalah

Penelitian ini mempunyai batasan masalah sebagai berikut:

1. Penelitian ini hanya mengkaji aspek teknis yang mempengaruhi produktivitas alat *Backhoe* Hitachi EX-3600 dan DT Caterpillar 785C.
2. Kemampuan setiap operator dan kinerja alat mekanis diasumsikan sama.
3. Penelitian tidak memperhitungkan curah hujan.
4. Penelitian ini tidak mempertimbangkan aspek ekonomis.

1.5. Metode Penelitian

1. Studi Literatur

Studi literatur dilakukan untuk mencari informasi yang berkaitan dengan judul penelitian, yang bisa didapatkan melalui buku-buku literatur, jurnal maupun karya tulis ilmiah serta laporan dari PT. MTN.

2. Orientasi Lapangan

Orientasi lapangan dilakukan dengan cara mengamati secara langsung kondisi lapangan dan kegiatan yang terkait dengan pelaksanaan penelitian secara keseluruhan.

3. Observasi Lapangan

Melakukan pengamatan lapangan secara langsung untuk mengetahui potensi masalah dan kendala yang terjadi pada kegiatan penambangan.

4. Pengambilan Data

Data yang dibutuhkan dalam penelitian ini diperoleh melalui pengambilan data secara langsung di lapangan (data primer) dan literatur-literatur yang berhubungan dengan permasalahan yang ada (data sekunder), data yang diambil mencakup beberapa hal sebagai berikut:

a. Data Primer

- 1) Waktu edar alat *Backhoe* Hitachi EX-3600
- 2) Waktu edar DT Caterpillar 785C
- 3) *Bucket Fill Factor*
- 4) Kondisi dan geometri *Front* pemuatan
- 5) Kondisi dan geometri jalan angkut
- 6) Kondisi disposal area

b. Data Sekunder:

- 1) Peta lokasi PT. MTN *Jobsite* KPC
- 2) Spesifikasi alat *Backhoe* Hitachi EX-3600
- 3) Spesifikasi DT Caterpillar 785C
- 4) Nilai *Swell Factor*
- 5) *Orthophoto* PT. MTN *Jobsite* KPC

5. Pengolahan Data

Data yang diperoleh akan diolah untuk memperoleh hasil yaitu:

- a. Data Primer, yaitu data yang diambil secara langsung di lapangan. Data tersebut meliputi: waktu edar, *bucket fill factor*, kondisi dan geometri *front* pemuatan dan kondisi dan geometri jalan angkut dan kondisi disposal area.
- b. Data sekunder, yaitu data yang didapatkan secara tidak langsung, dapat diperoleh dari mengutip atau menyalin dari data yang sudah ada. Data sekunder meliputi: peta lokasi PT. MTN *jobsite* KPC, spesifikasi alat gali-muat dan alat angkut, *swell factor*, dan *orthopoto* PT. MTN *jobsite* KPC

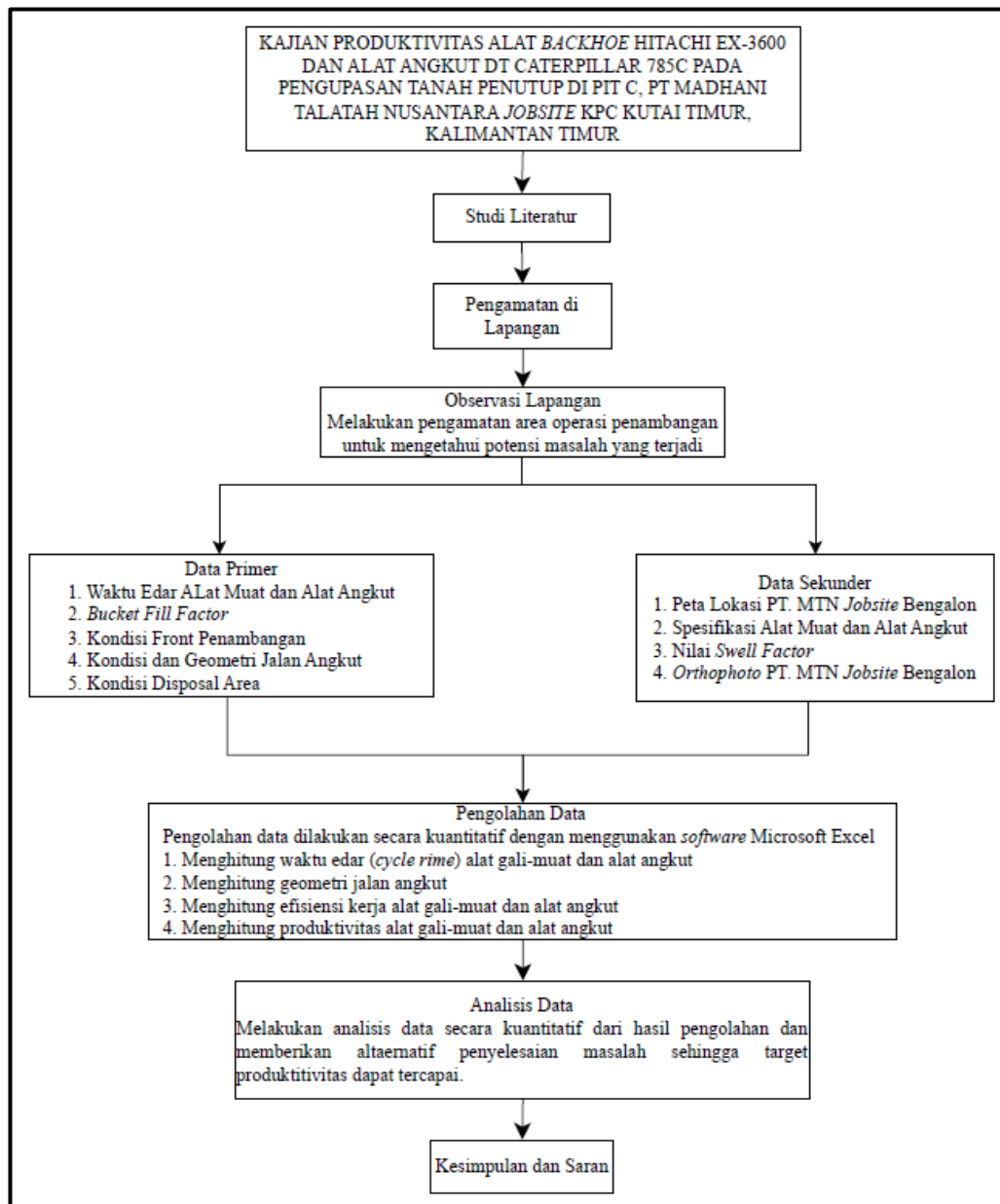
6. Analisis pengolahan data

Hasil pengolahan data berupa data hasil produktivitas alat mekanis kemudian dianalisis untuk dapat mengetahui faktor-faktor pengaruh produktivitas alat mekanis. Faktor-faktor tersebut akan menjadi dasar penentu upaya dan alternatif

solusi sehingga produktivitas alat mekanis dapat tercapai secara optimal dan memenuhi target produksi.

7. Kesimpulan dan saran

Dari hasil pengolahan data yang dilakukan maka didapatkan produktivitas aktual alat gali-muat dan alat angkut, faktor-faktor yang mempengaruhinya, beserta hasil analisis guna menetapkan kesimpulan dan alternatif masukan, saran, serta solusi terhadap masalah yang dikaji. Untuk memperjelas penelitian ini, disajikan tahapan penelitian yang terdapat pada Gambar 1.1.



Gambar 1.1.
Tahapan Penelitian

1.6. Manfaat Penelitian

Penelitian ini diharapkan dapat memberikan manfaat sebagai berikut:

1. Hasil penelitian dapat digunakan oleh perusahaan untuk mengoptimalkan produksi alat gali-muat dan alat angkut sehingga dapat meningkatkan pencapaian target produksi pengupasan tanah penutup.
2. Penelitian dan hasil yang diperoleh diharapkan dapat digunakan untuk menjadi referensi untuk penelitian lain. Penelitian ini diharapkan dapat menambah pengetahuan di bidang pertambangan khususnya dalam hal kajian produksi utamanya bagi penulis dan umumnya bagi pembaca.

BAB II

TINJAUAN UMUM

2.1. Lokasi dan Kesampaian Daerah

Lokasi penelitian terletak di Desa Keraitan, Kecamatan Bengalon, Kabupaten Kutai Timur, Provinsi Kalimantan Timur. Secara astronomi lokasi penelitian berada pada koordinat 117⁰32'30" Bujur Timur sampai dengan 117⁰34'14" Bujur Timur dan 0°47'30" Lintang Utara sampai dengan 0°47'0,08" Lintang Utara. Secara administratif lokasi penelitian memiliki batas-batas daerah sebagai berikut:.

Sebelah Utara : Kabupaten Berau

Sebelah Timur : Selat Makasar

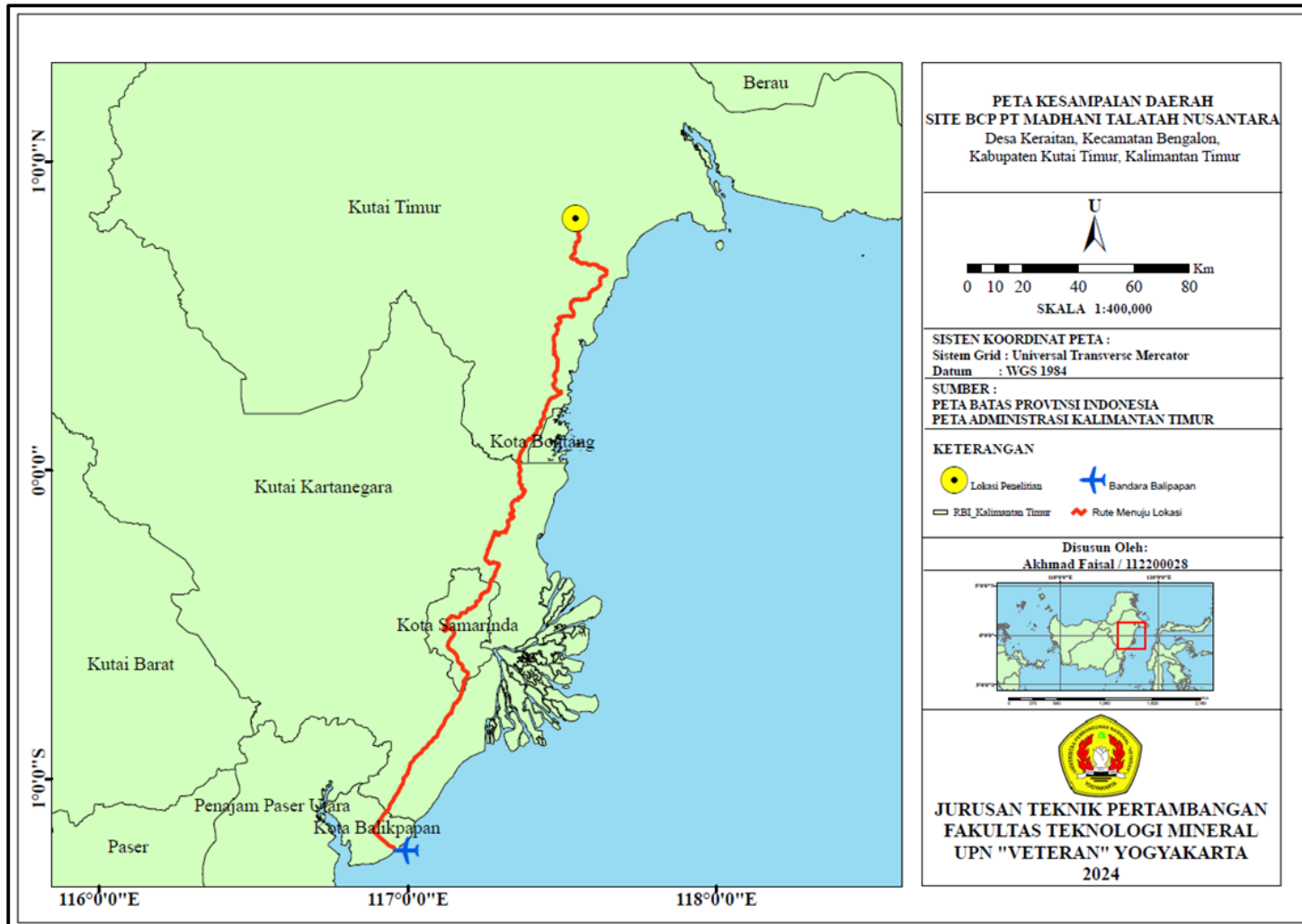
Sebelah Selatan : Kotamadya Sangatta

Sebelah Barat : Provinsi Kalimantan Barat

Untuk mencapai ke lokasi penelitian yaitu PT. MTN dapat ditempuh melalui dua tahap perjalanan yaitu tahap pertama jalur udara dan tahap kedua jalur darat. Berikut rute perjalanan yang ditempuh untuk menuju ke lokasi penelitian:

1. Perjalanan dari Yogyakarta ke Balikpapan ditempuh menggunakan pesawat dengan terbang dari bandara Yogyakarta Internasional *Airport* menuju Bandara Sultan Aji Muhammad Sulaiman Sepingan *Inernational Airport*. Jarak perjalanan sekitar 1.350 km dengan lama waktu penerbangan ± 120 menit.
2. Setelah tiba di Bandara Sultan Aji Muhammad Sulaiman Sepingan *Inernational Airport*, perjalanan dilanjutkan dengan kendaraan mobil menuju Desa Keraitan, Kecamatan Bengalon, Kabupaten Kutai Kartanegara dengan jarak perjalanan sekitar 352 km dengan lama waktu perjalanan ± 9 jam.

Peta kesampaian daerah menuju lokasi penelitian yaitu PT. MTN dapat dilihat pada gambar berikut (Lihat Gambar 2.1)



Gambar 2.1.
 Peta Kesampaian Daerah Penelitian

2.2. Tinjauan Geologi

Tinjauan geologi di lokasi penelitian mencakup keadaan geologi regional dan geologi lokal, yang mana akan dijelaskan mengenai morfologi, stratigrafi dan struktur geologi.

2.2.1. Morfologi

Secara umum keadaan morfologi di daerah Bengalon merupakan kawasan berbukit dengan kemiringan dari arah selatan menuju tenggara. Morfologi pada daerah penelitian relatif landai terletak di bagian timur yang dikontrol oleh struktur geologi berupa lipatan dan kekar. Morfologi daerah penelitian dapat dilihat pada Gambar 2.2. Vegetasi yang ada pada daerah penelitian sebagian besar seperti nipah, semak-semak, ilalang, dan pepohonan berukuran besar.



Sumber : Dokumentasi Pribadi

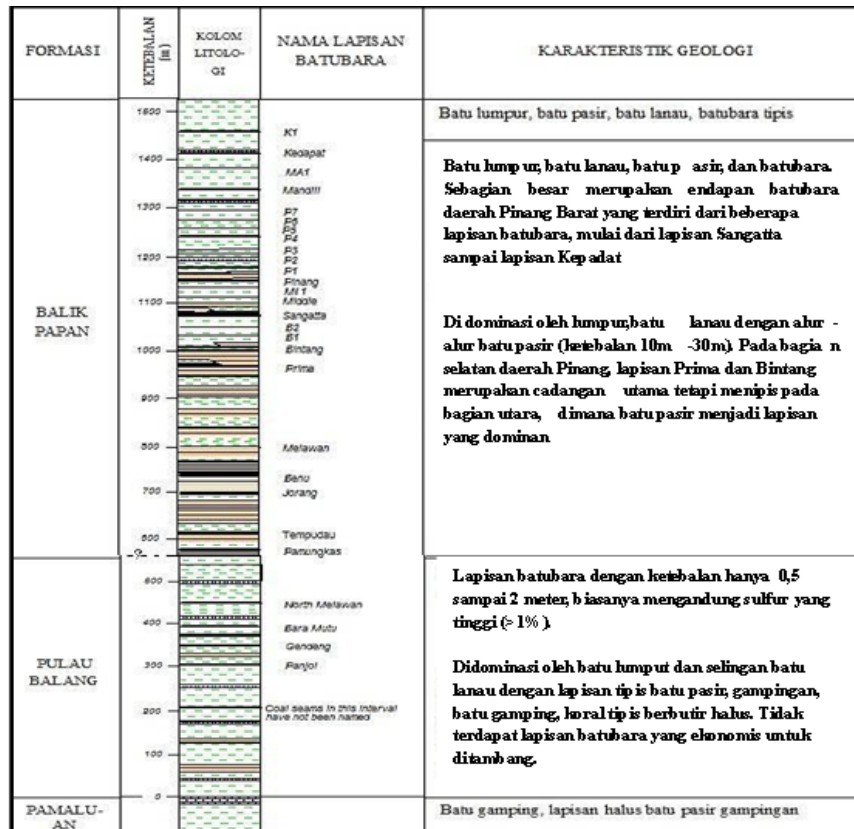
Gambar 2.2
Morfologi Daerah Penelitian

2.2.2. Stratigrafi

Secara regional, kondisi stratigrafi daerah penelitian dijelaskan berdasarkan Peta Geologi yang dikeluarkan oleh Departemen Geologi PT KPC (Gambar 2.3). Berikut uraian dari stratigrafi regional wilayah sangatta dan bengalon dari formasi yang paling muda sampai yang tua

- a. Formasi Balikpapan: Formasi ini Terdiri dari batu lumpur, batu pasir, batu lanau, dan batubara. Pada perselingan antara batupasir kuarsa, lemping dan lanau tampak struktur silang siur dan perairan.

- b. Formasi Pulau Balang: Didominasi oleh batu lumpur dan selingan batu lanau dengan lapisan tipis batu pasir, batu lempung dan batubara. Lapisan batubara memiliki ketebalan 0,5-2 m dan biasanya mengandung sulfur yang tinggi
- c. Formasi Pamaluan: Terdiri atas batulempung dengan sisipan tipis napal, batupasir dan batubara. Bagaian atas terdiri dari batulempung pasiran yang mengandung sisi tumbuhan dan beberapa lapis tipis batubara .



Sumber : Departemen Geologi PT Kalimantan Prima Coal (KPC)

Gambar 2.3.
Stratigrafi Daerah Bengalon

2.2.3. Struktur Geologi

Struktur geologi di daerah Bengalon pada umumnya berupa perlipatan sedang dan struktur sesar normal. Daerah bengalon barat terletak pada daerah utara perpanjangan Sinklin Runtu, sedangkan Bengalon timur terletak pada struktur Sinklin Penebaran. Struktur turun dengan jarak sejauh 100 m – 200 m dengan arah timur – barat memotong potensi daerah batubara. Bengalon Barat, Sesar Rantau mengakibatkan adanya perulangan lapisan batubara.

Struktur perlipatan dengan orientasi sumbu timur-barat terbentuk lebih dahulu dibandingkan dengan struktur perlipatan dengan orientasi sumbu sejajar

Siklin Lembak, walaupun struktur perlipatan yang kedua dipengaruhi oleh struktur perlipatan yang dijumpai di Cengkungan Kutai dan merupakan ciri yang dapat dipakai menentukan batas ekonomis endapan betubara di Cekungan Kutai.

2.3. Kegiatan Penambangan PT. MTN Site KPC

Kegiatan penambangan dilakukan dengan sistem tambang terbuka berupa *open pit*. Alat mekanis yang digunakan pada kegiatan penambangan berupa kombinasi *excavator* dan *dump truck*. Berikut kegiatan penambangan yang dilakukan.

2.3.1. Pengupasan Tanah Penutup (*Overburden*)

Kegiatan pengupasan tanah penutup terdiri dari pembongkaran, pemuatan dan pengangkutan. Untuk pembongkaran dan pemuatan lapisan tanah penutup dilakukan dengan menggunakan alat *excavator* yaitu *Backhoe* Hitachi EX-3600, *Backhoe*, Hitachi EX-2500, Komatsu PC 2000-8, dan *Backhoe* Liebherr R9200. Untuk pengangkutan tanah penutup menggunakan alat angkut DT Caterpillar 785C, DT Caterpillar 773E, dan Komatsu HD 785-7. Kegiatan pengupasan tanah penutup dapat dilihat pada Gambar 2.4 dan 2.5.



Sumber : Dokumentasi Pribadi

Gambar 2.4
Proses Pemuatan oleh Alat *Backhoe* Hitachi EX-3600



Sumber : Dokumentasi Pribadi

Gambar 2.5

DT Caterpillar 785C Melakukan Pengangkutan *Overburden*

2.3.2. Penambangan Batubara

Penambangan batubara terdiri dari proses pembongkaran, pemuatan dan pengangkutan. Untuk kegiatan pembongkaran dan pemuatan batubara menggunakan alat *excavator* yaitu Komatsu PC-1250 SP-8, dan Komatsu PC 800-7 SE. Untuk pengangkutannya menggunakan Komatsu HD 465-7, Komatsu HD 775F, dan DT Caterpillar 773E. Kegiatan pemuatan batubara dapat dilihat pada Gambar 2.6.



Sumber : Dokumentasi Pribadi

Gambar 2.6

Proses Pemuatan Batubara oleh Alat Komatsu PC 800-7SE

BAB III

DASAR TEORI

Kegiatan pembongkaran material lapisan tanah penutup terdapat beberapa faktor yang dapat mempengaruhinya sebagai berikut:

3.1. Sifat Fisik Material

Sifat fisik material berpengaruh pada kegiatan proses gali-muat dan angkut material *overburden*, khususnya dalam menentukan perhitungan produksi serta jenis alat mekanik yang digunakan, beberapa sifat fisik material yang harus diperhatikan yaitu:

3.1.1. Faktor Pengembangan

Material *overburden* pada keadaan aslinya di alam memiliki rongga-rongga yang diisi oleh sedikit udara di antara butir-butirnya. Oleh karena itu pada saat dilakukan penggalian material tersebut akan berubah yang semulanya berbentuk padat menjadi mengembang volumenya dan biasa disebut dengan *swell factor*.

Swell factor sangat penting untuk diketahui pada saat penggalian, dikarenakan perhitungan volume dilakukan berdasarkan kondisi material pada volume *in situ* (*bank volume*), sedangkan pada kegiatan pemuatan dan pengangkutan perhitungan volume dilakukan berdasarkan kondisi material lepas (*loose volume*). Nilai *swell factor* didapatkan dari volume penggalian dan *density* dari material, berikut rumus yang digunakan (Indonesianto, 2014):

$$Swell\ Factor = \frac{Loose\ Density}{Bank\ Density} \dots\dots\dots(3.1)$$

3.1.2. Bentuk dan Ukuran Material

Material yang berukuran besar dan kasar mempengaruhi besarnya volume ruang yang dapat ditempatinya, dan akan memiliki nilai yang lebih kecil dari volume ruang yang ditempatinya, dikarenakan banyaknya rongga kosong yang terisi oleh udara, sedangkan material yang berukuran kecil dan halus akan menghasilkan volume yang mendekati volume ruang aslinya.

3.1.3. Densitas Material

Densitas material adalah perbandingan antara massa material dengan volume material (Projosumarto, Partanto, 1996). Semakin tinggi densitas material, maka semakin besar pula massa setiap volumenya. Setiap material memiliki nilai densitas yang berbeda karena dipengaruhi oleh kandungan air, ukuran partikel, mineral penyusun, volume pori dan kondisi fisik lainnya.

3.2. Faktor Pengisian Mangkuk (*Bucket Fill Factor*)

Faktor pengisian *bucket* merupakan perbandingan antara volume nyata dengan volume spesifikasi alat yang dinyatakan dalam persen (Projosumarto, Partanto, 1996). Semakin besar faktor pengisian *bucket* maka semakin besar kemampuan nyata dari alat gali-muat. Adapun persamaan untuk perhitungan pengisian *bucket* yaitu :

$$BFf = \frac{V_a}{V} \times 100\% \dots\dots\dots(3.2)$$

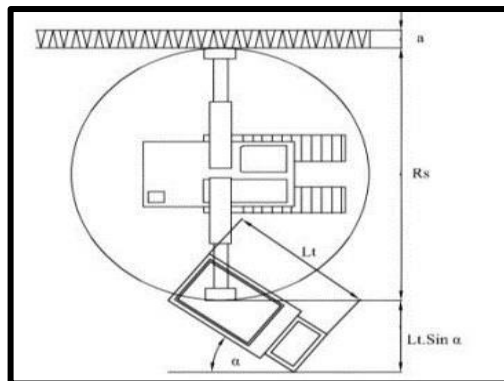
BFf = *Bucket Fill Factor* (%)

V_a = Volume *bucket* nyata (m³)

V = Volume teoritis berdasarkan spesifikasi alat (m³)

3.3. *Front* Penambangan

Front penambangan merupakan area dimana alat gali-muat melakukan pemuatan kepada alat angkut. *Front* penambangan harus memenuhi kriteria dimensi yang mempertimbangkan kondisi alat mekanis untuk bekerja. Mobilitas alat gali-muat dan alat angkut untuk melakukan manuver pada *front* penambangan akan mempengaruhi produktivitas alat. Untuk gambaran area *front* penambangan dapat dilihat pada Gambar 3.1.



(Sumber: Hustrulid, 2013)

Gambar 3.1
Dimensi *Front* Penambangan

Perhitungan lebar minimum *front* penambangan disesuaikan dengan spesifikasi masing-masing alat. Berikut untuk persamaan lebar minimum *front* penambangan (Hustrulid, 2013).

$$W_{min} = 2 (0,5 R_s) + a + M_t \dots \dots \dots (3.3)$$

$$M_t = L_t \cos \alpha + W_t \sin \alpha \dots \dots \dots (3.4)$$

Keterangan :

W_{min} = Lebar minimum *front* kerja alat, (m)

R_s = Radius ayun alat gali-muat, (m)

a = Jarak tambahan pengaman, (m)

M_t = Lebar alat angkut saat membentuk sudut α , (m)

L_t = Panjang alat angkut, (m)

W_t = Lebar alat angkut, (m)

α = Sudut penyimpangan (belok) roda depan, ($^{\circ}$)

3.4. Waktu Edar (*Cycle Time*)

Waktu edar merupakan waktu yang dibutuhkan oleh suatu alat mekanis untuk melakukan satu siklus pekerjaan produksi dari awal hingga akhir dan siap kembali untuk mengulangi siklus. Semakin cepat waktu edar dari suatu alat, maka produktivitasnya akan semakin tinggi. Waktu edar dalam kegiatan pembongkaran *overburden* dapat dibedakan menjadi waktu edar alat gali-muat dan waktu edar alat angkut.

3.4.1 Waktu Edar Alat Gali-Muat

Waktu edar alat gali-muat merupakan total waktu dalam melakukan pengisian *bucket* sampai menumpahkan muatan ke dalam alat angkut dan kembali kosong. Persamaan untuk menghitung waktu edar alat gali-muat sebagai berikut.

$$C_{tm} = T_{m_1} + T_{m_2} + T_{m_3} + T_{m_4} \dots \dots \dots (3.4)$$

Keterangan:

C_{tm} = Waktu edar alat gali-muat (detik)

T_{m_1} = Waktu untuk mengisi mangkuk (detik)

T_{m_2} = Waktu untuk mengayun mangkuk bermuatan (detik)

T_{m_3} = Waktu untuk menumpahkan material (detik)

T_{m_4} = Waktu untuk mengayun mangkuk kosong (detik)

3.4.2 Waktu Edar Alat Angkut

Waktu edar alat angkut merupakan total waktu dari mengatur posisi alat angkut, waktu diisi muatan, waktu perjalanan mengangkut material, waktu mengatur posisi penumpahan muatan, waktu menumpahkan muatan, dan waktu perjalanan kembali kosong. Waktu yang lama umumnya terdapat pada saat perjalanan mengangkut material dan perjalanan kembali kosong. Persamaan untuk menghitung waktu edar alat angkut sebagai berikut:

$$CTa = Ta_1 + Ta_2 + Ta_3 + Ta_4 + Ta_5 + Ta_6 \dots \dots \dots (3.5)$$

Keterangan:

CTa = Waktu edar alat angkut (detik)

Ta₁ = Waktu untuk mengatur posisi truk (detik)

Ta₂ = Waktu untuk pengisian muatan (detik)

Ta₃ = Waktu untuk perjalanan mengangkut muatan (detik)

Ta₄ = Waktu untuk mengatur posisi penumpahan muatan (detik)

Ta₅ = Waktu untuk menumpahkan muatan (detik)

Ta₆ = Waktu untuk perjalanan kembali kosong (detik)

Terdapat beberapa faktor penyebab waktu edar dari alat gali-muat dan alat angkut mengalami perbedaan, antara lain:

a. Kondisi Tempat Kerja

Kondisi tempat kerja dapat mempengaruhi dari waktu edar karena berhubungan dengan tingkat fleksibilitas serta manuver dari alat mekanis, area kerja yang luas dan tidak terdapat genangan air akan memudahkan untuk alat gali-muat serta alat angkut melakukan manuver, tanpa harus memperbaiki area tempat kerja.

b. Kekompakan material

Kekompakan material mempengaruhi dari kinerja alat gali-muat dalam melakukan penggalian. Semakin kompak material maka semakin keras material tersebut.

c. Pola Pemuatan

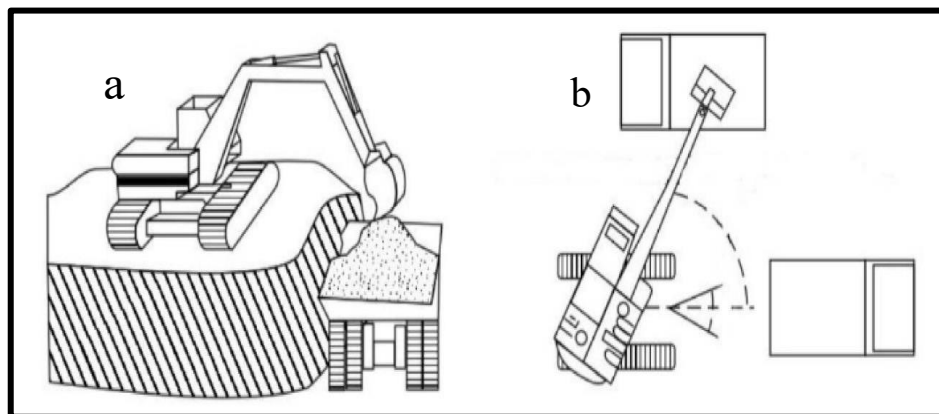
Pola pemuatan merupakan faktor yang mempengaruhi dalam waktu edar dan ketercapaian target produksi. Ada beberapa macam dalam menentukan pola pemuatan yang ditunjukkan oleh alat gali-muat dan alat angkut, yaitu:

1. *Top Loading*

Posisi alat gali-muat dalam melakukan penggalian berada di atas jenjang atau berada pada level yang lebih tinggi dari level *dump truck*. Pola ini sangat efektif dalam mengambil material dan mengurangi waktu edar dari alat gali-muat, dikarenakan lengan *backhoe* dapat melakukan penggalian dengan lebih efisien ke arah bawah dan dapat memudahkan operator alat gali-muat untuk lebih leluasa melihat dan menempatkan material ke dalam *vessel*. Pola *top loading* dapat dilihat pada gambar 3.2 a.

2. *Bottom Loading*

Posisi alat gali-muat saat melakukan penggalian berada pada level yang sama dengan posisi alat angkut. Pola pemuatan ini akan menjadikan waktu edar lebih besar dan lebih cocok digunakan oleh alat gali-muat *power shovel*. Pola *bottom loading* dapat dilihat pada gambar 3.2 b.



Sumber: (Indonesianto, 2014)

Gambar 3.2

Pola Pemuatan (a) *Top Loading* dan (b) *Bottom Loading*

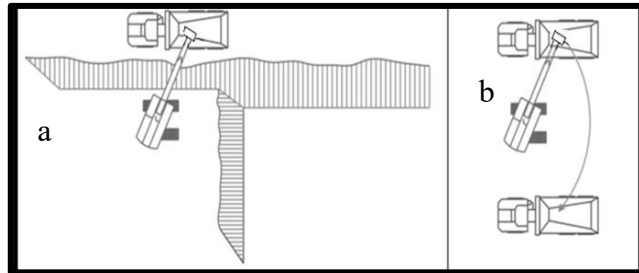
Pola pemuatan berdasarkan jumlah penempatan alat angkut untuk dimuati terhadap posisi alat gali-muat dapat dibedakan menjadi beberapa cara, yaitu:

1. *Single Side Loading*

Pada pola ini, *dump truck* memposisikan diri pada satu tempat untuk dimuati material, sedangkan *dump truck* berikutnya menunggu alat angkut pertama selesai dimuati material hingga penuh, setelah *dump truck* pertama pergi kemudian *dump truck* kedua memposisikan diri untuk dimuati material dan *dump truck* ketiga menunggu, dan begitu seterusnya. Ketika menggunakan *single back up* akan mengakibatkan waktu terbuang untuk memposisikan alat angkut sampai siap dimuat. (Gambar 3.3a).

2. *Double Side Loading*

Pada pola ini, *dump truck* memposisikan diri untuk dimuati pada dua sisi alat gali-muat dimana pada waktu salah satu *dump truck* sedang diisi muatan *dump truck* yang lainnya telah siap memposisikan diri untuk dimuati. (Gambar 3.3b)



Sumber: (Indonesianto, 2014)

Gambar 3.3

Pola Pemuatan (a) *Single Side Loading* dan (b) *Double Side Loading*

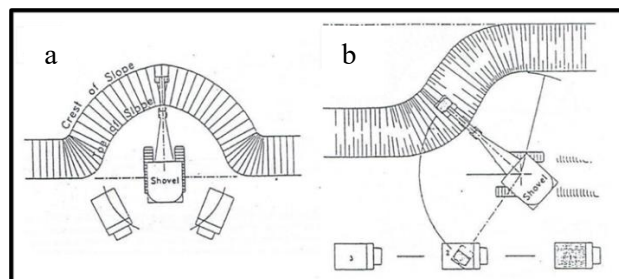
Pola pemuatan berdasarkan cara manuver dan penempatan alat angkut terhadap alat gali-muat dapat dibedakan beberapa cara, yaitu:

1. *Frontal Cut*

Posisi dari alat gali-muat dengan muka jenjang atau *front* penggalian berhadapan secara langsung. Pemuatan dilakukan pada alat angkut di sebelah kiri terlebih dahulu hingga penuh kemudian dilanjutkan pada alat angkut sebelah kanan atau sebaliknya (Gambar 3.5.a)

2. *Parallel Cut with Drive-By*

Alat gali-muat bergerak melintang dan sejajar dengan *front* penggalian. Pada pola ini, akses untuk alat angkut harus tersedia dari dua arah. Walaupun sudut putar rata-rata lebih besar daripada *frontal cut*, *dump truck* tidak perlu membelakangi alat gali-muat dan *spotting* lebih mudah. (Gambar 3.5b)



Sumber: (Indonesianto, 2014)

Gambar 3.4

Pola Pemuatan (a) *Frontal Cut* dan (b) *Paralel Cut With Drive-by*

3.5. Geometri dan Kondisi Jalan Angkut

Salah satu hal terpenting untuk dapat mencapai target produktivitas yang telah ditentukan perusahaan adalah geometri dan kondisi jalan angkut. Jalan angkut dengan kondisi yang baik dapat mengoptimalkan kemampuan produktivitas dari alat angkut yang digunakan, geometri jalan yang baik harus memenuhi bentuk dimensi yang memenuhi syarat diantaranya adalah harus sesuai dengan tipe (ukuran, bentuk, dan spesifikasi) alat angkut yang digunakan dan kondisi medan yang dilalui.

Geometri dan kondisi jalan angkut yang memenuhi standar akan menjamin keamanan dan keselamatan kerja dalam pelaksanaan kegiatan penambangan. Geometri jalan angkut meliputi lebar pada jalan lurus, lebar pada jalan tikungan, jari-jari tikungan, superelevasi, serta kemiringan atau *grade* jalan.

3.5.1 Lebar Jalan Angkut

Lebar jalan angkut yang harus diperhitungkan terdiri dari dua macam, yaitu lebar pada jalan lurus dan pada jalan tikungan.

1. Lebar Jalan Angkut pada Jalan Lurus

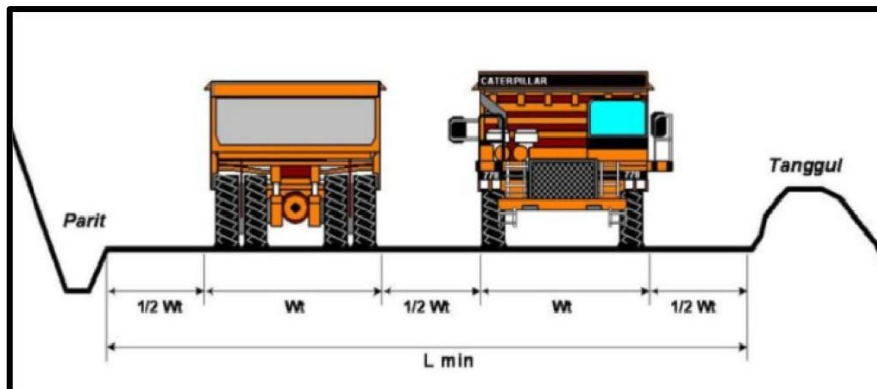
Penentuan lebar jalan angkut minimum untuk jalan yang lurus (Gambar 3.5) didasarkan pada Keputusan Menteri ESDM No.1827K/30/MEM/2018 dimana rumusnya sebagai berikut:

$$L_{min} = 3,5 \times W_t \dots \dots \dots (3.6)$$

Keterangan:

L_{min} = Lebar pada jalan angkut lurus minimum (m)

W_t = Lebar alat angkut total (m)



(Sumber: Kaufman,dkk, 1977)

Gambar 3.5
Penampang Melintang Rancangan Jalan Angkut dengan Dua Lajur

2. Lebar Jalan Angkut pada Tikungan

Lebar pada jalan angkut tikungan lebih besar dibandingkan dengan jalan angkut yang lurus. Hal ini dipengaruhi oleh dimensi dari alat angkut ketika berbelok yang membutuhkan area yang lebih besar. Untuk lebar jalan angkut minimum pada tikungan didasarkan pada:

- Lebar jejak ban pada alat angkut
- Jarak antar alat angkut ketika bersimpangan
- Lebar jantai atau tonjolan alat angkut pada bagian depan dan belakang saat membelok
- Lebar jarak angkut terhadap tepi jalan

Lebar minimum jalan angkut pada tikungan dapat dihitung dengan menggunakan persamaan sebagai berikut (Kaufman, dkk, 1977):

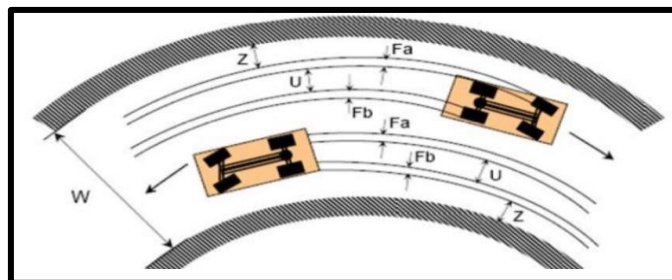
$$W = N (U + Fa + Fb + Z) + C \dots \dots \dots (3.7)$$

$$C = Z = 0,5 (U + Fa + Fb) \dots \dots \dots (3.8)$$

Keterangan:

- W = Lebar minimum jalan angkut pada tikungan (m)
- N = Jumlah jalur
- U = Jarak jejak roda kendaraan (m)
- Fa = Jejak ban depan dan belakang saat tikungan dilihat dari depan, (m), (Dikoreksikan dengan sudut penyimpangan)
- Fb = Selisih lebar jejak ban depan dan belakang saat tikungan dilihat dari belakang, (m), (Dikoreksikan dengan sudut penyimpangan)
- C = Jarak antara dua truk yang bersimpangan (m)
- Z = Jarak sisi luar truk ke tepi jalan (m)

Ilustrasi lebar jalan pada tikungan untuk dua jalur dapat dilihat pada Gambar 3.6.



(Sumber: Kaufman, dkk, 1977)

Gambar 3.6.
Lebar Jalan Angkut pada Tikungan untuk Dua Lajur

3.5.2 Kemiringan Jalan Angkut

Kemiringan jalan angkut mempengaruhi kecepatan, pemakaian bahan bakar, dan produktifitas dari *dump truck*. sehingga bisa mempengaruhi produksi.

1) Kemiringan pada Jalan Lurus (*Grade*)

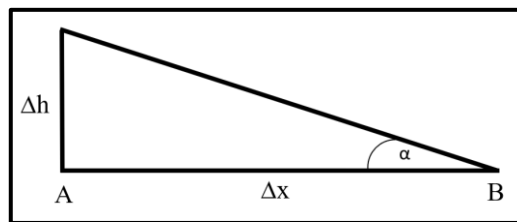
Grade jalan mempengaruhi dari kemampuan alat angkut yang digunakan dalam melewati tanjakan dan melakukan pengereman pada saat pengangkutan material. Kemiringan jalan dinyatakan dalam persen (%), kemiringan 1% berarti dalam jarak 100 m jalan tersebut naik atau turun 1 m. Kemiringan jalan angkut dinyatakan dalam persamaan berikut (Kaufman, dkk, 1977):

$$Grade (\alpha) = \frac{\Delta h}{\Delta x} (100\%) \dots \dots \dots (3.9.)$$

Keterangan:

Δh = Beda tinggi antara dua titik yang diukur (m)

Δx = Jarak datar antara dua titik yang diukur (m)



(Sumber, Indonesianto 2014)

Gambar 3.7.
Kemiringan pada Jalan Lurus

2) Radius Tikungan

Radius tikungan berhubungan dengan jarak horizontal antara poros roda depan dan roda belakang. Radius tikungan berdasarkan roda depan dan roda belakang akan berpotongan pada satu titik yang memiliki besar sudut sama dengan sudut penyimpangan roda depan. Radius tikungan dapat dihitung menggunakan persamaan sebagai berikut (Kaufman, dkk, 1977)

$$R = \frac{W}{\sin \beta}$$

Keterangan:

R = Radius tikungan (m)

W = Jarak poros roda depan dengan roda belakang (m)

β = Sudut penyimpangan roda (°)

3) Superelevasi

Kemiringan jalan pada suatu tikungan biasa disebut superelevasi yang merupakan kemiringan jalan pada tikungan yang terbentuk oleh batas antara tepi jalan terluar dengan tepi jalan terdalam karena perbedaan ketinggian. Tujuan dibentuknya superelevasi pada daerah tikungan jalan angkut yaitu untuk menghindari atau mencegah kendaraan tergelincir keluar jalan akibat gaya sentrifugal atau terguling dan mempertahankan kecepatan saat melewati tikungan.

Nilai superelevasi yang diijinkan berdasarkan gabungan dari gaya sentrifugal dan faktor gesekan (*Friction Factor*) dapat dihitung menggunakan persamaan berikut (Kaufman, dkk, 1977):

$$(e + f) = \frac{V^2}{127 R} \dots\dots\dots(3.10)$$

Keterangan:

$e + f$ = Nilai superelevasi berdasarkan sentrifugal dan faktor gesekan (m/m)

V = Kecepatan rencana kendaraan (km/jam)

R = Radius tikungan (m)

Nilai koefisien gesek melintang alat angkut akan berubah mengikuti kecepatan alat angkut saat melewati jalan tikungan tersebut. Untuk mendapatkan nilai superelevasi dapat menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$f = -0,0065 v + 0,192 \dots\dots\dots(3.11)$$

Beda tinggi yang direkomendasikan dapat dihitung dengan menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$H_{tr} (m) = L_t \times \sin \alpha$$

Keterangan:

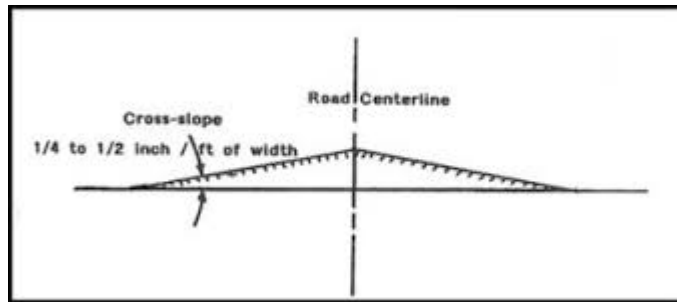
H_{tr} = Beda tinggi rekomendasi (m)

H_{tm} = Beda tinggi aktual (m)

α = Arctan superelevasi (°)

4) *Cross Slope*

Cross slope berfungsi untuk memudahkan aliran air dan meminimalkan akumulasi air di permukaan jalan, yang diakibatkan karena hujan atau kondisi lainnya, seperti ilustrasi gambar 3.8, (Hustrulid, dkk, 2013).



(Sumber: Hustrulid, dkk, 2013)

Gambar 3.8

Ilustrasi *Cross Slope* pada Jalan Tambang

Nilai-nilai *cross slope* yang direkomendasikan menurut peraturan dan pendapat para ahli yaitu:

1. Berdasarkan Kepmen ESDM No. 1827.K/30/MEM/2018, *cross slope* paling kurang sebesar 2%.
2. Menurut W. Hustrulid, M. Kuchta, dan R. Martin (2013, nilai *cross slope* berkisar antara 1/4 - 1/2 inch/ft.
3. Menurut Thompson, *cross slope* yang baik tidak kurang dari 2% dan tidak lebih dari 6%

3.6. Efisiensi Kerja

Efisiensi kerja merupakan perbandingan antara waktu kerja efektif dengan waktu kerja tersedia. Waktu kerja efektif didapatkan dari waktu kerja tersedia dikurangi oleh waktu hambatan. Sehingga waktu kerja efektif merupakan waktu kerja yang benar-benar digunakan oleh operator dan alat saat beroperasi dalam waktu yang tersedia selama 1 jam atau 60 menit. Waktu hambatan terdiri dari waktu memperbaiki rantai kerja pada *front*, memposisikan alat, *delay time*, antri di simpangan, dan keperluan operator.

Waktu kerja efektif dan efisien kerja dapat dihitung dengan menggunakan persamaan sebagai berikut

$$We = Wt - Wh \dots \dots \dots (3.12)$$

$$Ek = \frac{We}{Wt} \times 100\% \dots \dots \dots (3.13)$$

Keterangan:

- We = Waktu kerja efektif (menit)
- Wt = Waktu kerja tersedia (menit)
- Wh = Waktu hambatan (menit)

Ek = Efisiensi kerja (menit)

3.7. Kemampuan Produktivitas Alat Mekanis

Kemampuan produktivitas alat mekanis dibagi menjadi dua yaitu sebagai berikut:

3.8.1 Produktivitas Alat Gali-Muat

Produktivitas alat gali-muat dapat dihitung dengan menggunakan persamaan berikut:

$$Qm = \frac{3600}{ctm} \times Cb \times BFF \times Sf \times Ek \dots\dots\dots(3.15)$$

Keterangan:

Qm = Produktivitas alat gali-muat (BCM/jam)

Ctm = Waktu edar alat gali-muat (detik)

Cb = Kapasitas *bucket* (m³)

BFF = *Bucket fill factor* (%)

Sf = *Swell factor* (%)

Ek = Efisiensi kerja (%)

3.8.2 Produktivitas Alat Angkut

Produktivitas alat angkut dapat dihitung dengan menggunakan persamaan berikut:

$$Qta = n \times \frac{3600}{cta} \times Cb \times BFF \times Sf \times Ek \dots\dots\dots(3.16)$$

Keterangan:

Qta = Produktivitas alat angkut (BCM/jam)

Cta = Waktu edar alat angkut (detik)

Cb = Kapasitas *bucket* (m³)

BFF = *Bucket fill factor* (%)

Sf = *Swell factor* (%)

Ek = Efisiensi kerja (%)

n = Jumlah curah

3.8. Faktor Keserasian (*Match Factor*)

Faktor keserasian atau *match factor* merupakan angka yang menunjukkan nilai perbandingan alat angkut yang dibutuhkan untuk melayani satu unit alat *excavator*. Faktor keserasian dijabarkan sebagai perbandingan antara produktivitas

alat gali-muat dan alat angkut. Perhitungan faktor keserasian dapat diperoleh dengan menggunakan rumus sebagai berikut (Indonesianto, 2014):

$$MF = \frac{Na \times Ctm \times n}{Nm \times Cta} \dots\dots\dots(3.17)$$

Keterangan:

- MF = Faktor keserasian
- Na = Jumlah alat angkut
- Nm = Jumlah alat gali-muat
- Cta = Waktu edar alat angkut
- Ctm = Waktu edar alat gali-muat
- N = Jumlah alat

Dari perhitungan *match factor* dapat disimpulkan bahwa:

1. MF<1, artinya alat gali-muat bekerja kurang dari 100% sedangkan alat angkut bekerja 100%. Sehingga terdapat waktu tunggu bagi alat gali-muat karena menunggu alat angkut yang belum datang.
2. MF=1, artinya alat gali-muat dan alat angkut bekerja 100%, tidak terjadi waktu tunggu bagi keduanya.
3. MF>1, artinya alat gali-muat bekerja 100%, sedangkan alat angkut kurang dari 100%, terjadinya waktu tunggu bagi alat angkut.

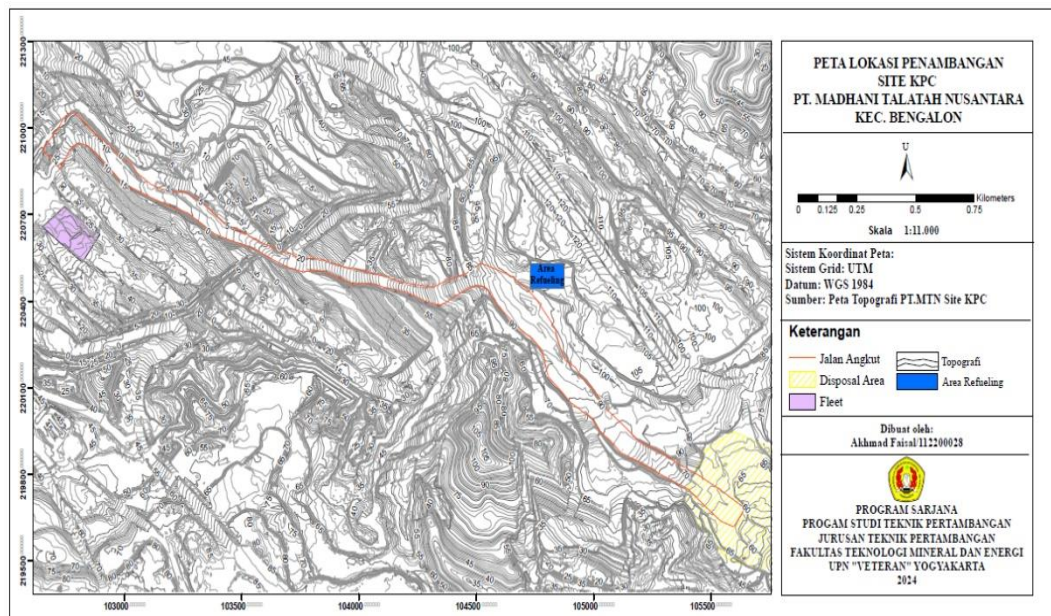
BAB IV

HASIL PENELITIAN

Penelitian ini telah dilakukan di PT Madhani Talatah Nusantara *jobsite* KPC dengan menggunakan metode observasi langsung dilapangan untuk mengumpulkan data. Setelah data terkumpul, data tersebut akan dihitung untuk mendapatkan hasil aktual di lapangan. Berdasarkan observasi dan pengumpulan data, diperoleh hasil sebagai berikut:

4.1. Tinjauan Lokasi Penambangan

Tinjauan lokasi penambangan bertujuan untuk mengetahui dan menganalisis kondisi tempat kerja sudah memenuhi standar yang ditetapkan atau belum. Dikarenakan kondisi tempat yang belum memenuhi standar akan menjadi faktor penghambat produksi mekanis. Peta lokasi penambangan dapat dilihat pada Gambar 4.1.



Gambar 4.1.
Peta Lokasi Penambangan

4.1.1. Kondisi *Front* Penambangan

Kegiatan penambangan yang dilakukan terdiri dari pembongkaran, pemuatan, dan pengangkutan. Kondisi *front* penambangan memiliki dimensi relatif

lebar sekitar 34-45 m. Dimensi tersebut tersebut sudah memenuhi standar lebar *frot* DT Caterpillar 785C yaitu sebesar 34 m. Dengan lebarnya dimensi *front* penambangan akan memudahkan alat angkut dalam melakukan manuver. Rata-rata waktu manuver DT Caterpillar 785C pada area *front* sebesar 25,96 detik.



Sumber : Dokumentasi Pribadi

Gambar 4.2

Kondisi *Front* Penambangan

4.1.2. Kondisi Jalan Angkut

Jalan angkut merupakan prasarana penghubung antara area pemuatan dengan area penimbunan. Jalan angkut yang dilalui DT Caterpillar 785C berasal dari material asli, kondisi jalan angkut dapat dilihat pada Gambar 4.2. Jarak jalan angkut sepanjang 4,1 km sehingga memerlukan waktu yang lama untuk ke lokasi area penimbunan. Target dari perusahaan untuk waktu edar DT Caterpillar 785C sebesar 24 menit dengan kecepatan rata-rata 24 km/jam. Hasil dari perhitungan didapatkan waktu rata-rata *travel* muat yaitu 717,46 detik dan rata-rata waktu *travel* kosong yaitu 599,09 detik dengan kecepatan rata-rata sebesar 22,6 km/jam.



Sumber : Dokumentasi Drone PT. MTN

Gambar 4.3

Kondisi Jalan Angkut

4.2. Sifat Fisik Tanah Penutup

Sifat fisik tanah penutup berpengaruh terhadap kegiatan penambangan terutama pada peralatan mekanis untuk menentukan perhitungan produktivitas. Sifat fisik tanah penutup terdiri dari faktor pengembangan (*swell factor*) dan faktor pengisian mangkuk (*bucket fill factor*) untuk lebih jelasnya sebagai berikut:

4.2.1. Faktor Pengembangan (*Swell Factor*)

Berdasarkan data dari perusahaan didapatkan *loose density* sebesar 2,22 ton/m³ dan *bank density* sebesar 2,68 ton/m³. Maka besarnya *swell factor* dengan menggunakan persamaan (3.1) yaitu 0,83.

4.2.2. Faktor Pengisian Mangkuk (*Bucket Fill Factor*)

Berdasarkan hasil perhitungan didapatkan faktor pengisian mangkuk sebesar 91,1% dengan jumlah curah pengisian 4x. Berdasarkan Keputusan Menteri ESDM No. 1827 K/30/MEM/2018, nilai faktor pengisian mangkuk minimal sebesar 80%, sehingga sudah sesuai dan melebihi standar yang telah ditentukan. Perhitungan lebih jelasnya dapat di lihat pada lampiran C.

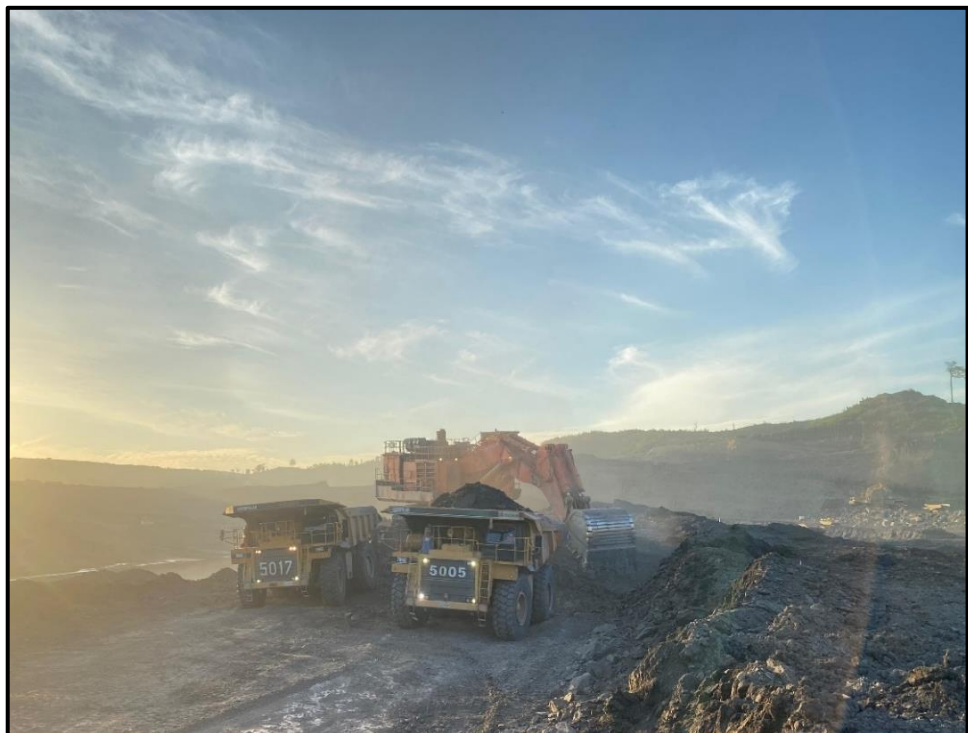
4.3. Pola Pemuatan

Berdasarkan pengamatan di lapangan pola pemuatan yang digunakan berdasarkan kedudukan alat *backhoe* Hitachi EX-3600 dan DT Caterpillar 785C terhadap material dan truk yaitu pola pemuatan *top loading*. Penggunaan pola pemuatan *top loading* untuk alat *backhoe* Hitachi EX-3600 dan DT Caterpillar 785C pada perusahaan PT. MTN *site* BCP didasarkan karena kemampuan alat gali-muat untuk dapat mengambil material dengan kedalaman sampai 8,63 m dan ketinggian *vessel* truk sebesar 4,97 m.

Untuk pola pemuatan berdasarkan penempatan posisi alat angkut menggunakan kombinasi teknik *single side loading*, dan *double side loading*. Pola tersebut digunakan oleh perusahaan didasarkan karena luasan area *front* penambangan yang digunakan yaitu sebesar 34-45 m, luasan tersebut telah memenuhi geometri standar lebar *front* untuk DT Caterpillar 785C yaitu sebesar 34 m (perhitungan dapat dilihat pada lampiran D). Didapatkan waktu edar alat *backhoe* Hitachi EX-3600 sebesar 33,51 detik untuk satu kali pemuatan. Untuk pola pemuatan yang digunakan dapat dilihat pada Gambar 4.1 dan 4.2



Gambar 4.4
Pola Pemuatan *Top Loading* dengan teknik *Single Back Up*



Gambar 4.5
Pola Pemuatan *Top Loading* dengan teknik *Double Back Up*

4.4. Geometri Jalan Angkut

Pada lokasi penelitian terdapat beberapa segmen geometri jalan angkut yang belum sesuai standar yang harus diterapkan, berikut penjelasan mengenai hal tersebut:

4.4.1. Lebar Jalan Angkut Lurus dan Tikungan

Berdasarkan spesifikasi DT Caterpillar 785C, lebar minimum jalan lurus untuk 2 lajur yaitu 24 m dan lebar minimum untuk jalan tikungan yaitu 29 m. Hasil perhitungan dapat dilihat pada Lampiran E, menunjukkan bahwa segmen jalan yang belum memenuhi lebar minimum terdapat pada segmen C-D, dan F-G. Data lebar jalan dinyatakan dalam Tabel 4.1 yang dapat dilihat sebagai berikut.

Tabel 4.1
Geometri Lebar Jalan Angkut

No.	SEGMENT	LEBAR (m)	PANJANG (m)	JALAN
1	A-B	31,66	234,68	Tikungan
2	B-C	31,61	205,58	Lurus
3	C-D	22,35	77,27	Lurus
4	D-E	31,15	204,65	Lurus
5	E-F	29,46	233,48	Lurus
6	F-G	22,90	292,88	Lurus
7	G-H	31,60	459,56	Lurus
8	H-I	31,38	139,72	Lurus
9	I-J	39,22	278,72	Tikungan
10	J-K	54,06	201,25	Lurus
11	K-L	48,88	524,08	Lurus
12	L-M	33,43	459,72	Lurus
13	M-N	28,76	314,56	Lurus

4.4.2. Kemiringan Jalan Angkut

Untuk kemiringan jalan angkut sesuai peraturan perusahaan yaitu maksimal sebesar 8%. Hasil analisis dengan menggunakan perhitungan (3.10) bisa dilihat pada Lampiran E, didapatkan satu segmen jalan yang belum memenuhi standar yaitu pada segmen H-I, sehingga harus dilakukan perbaikan jalan. Data kemiringan jalan angkut dapat dilihat pada tabel 4.2, dan Peta jalan angkut dapat dilihat pada Lampiran E.

4.4.5. *Cross Slope*

Perhitungan *cross slope* dilakukan pada setiap segmen jalan lurus. Sehingga didapatkan hasil perhitungan (Lampiran E) *cross slope*, yang dapat dilihat pada tabel 4.5.

Tabel 4.5
Perhitungan *Cross Slope* Aktual

Segmen Jalan	Lebar Jalan (m)	Rekomendasi <i>Cross Slope</i> (cm)
B-C	31,61	31,61
C-D	22,35	22,35
D-E	31,15	31,15
E-F	29,46	29,46
F-G	22,90	22,90
G-H	31,60	31,60
H-I	31,38	31,38
J-K	54,06	54,06
K-L	48,88	48,88

4.5. Waktu Edar (*Cycle Time*)

Kegiatan pengamatan dan pengambilan data waktu edar dilakukan pada saat alat gali-muat dan alat angkut melakukan pemuatan di area *front* tambang. Terdapat kombinasi alat *Backhoe* Hitachi EX-3600 dengan DT Caterpillar 785C. Pengamatan juga dilakukan pada area disposal untuk mendapatkan waktu edar alat angkut. Didapatkan hasil pengambilan data waktu edar alat gali-muat sebesar 0,6 menit dan alat angkut sebesar 26 menit. Untuk lebih jelasnya mengenai waktu edar alat gali-muat dan alat angkut dapat dilihat pada lampiran F dan G.

4.6. Efisiensi Kerja

Hasil pengamatan di lapangan efisiensi kerja alat gali-muat dan alat angkut dipengaruhi oleh kehilangan waktu kerja. Kehilangan waktu kerja pada alat gali-muat disebabkan oleh memperbaiki rantai kerja pada *front* dari material yang dapat mengganggu waktu manuver alat angkut dengan baik, *delay time* menunggu alat angkut saat mengisi bahan bakar, *positioning* alat gali-muat, dan *move equipment bulldozer*. Sedangkan pada DT Caterpillar 785C disebabkan oleh memosisikan alat pada saat akan dilakukan pemuatan, *delay time* pengisian bahan bakar, dan

Tabel 4.2
Geometri Kemiringan Jalan Angkut

No.	SEGMENT	JARAK DATAR (m)	BEDA TINGGI (m)	KEMIRINGAN (%)
1	A-B	234,68	-5,0	2,1
2	B-C	205,58	-4,5	2,2
3	C-D	77,27	-0,5	0,6
4	D-E	211,55	-5,0	2,4
5	E-F	233,48	-9,2	3,9
6	F-G	292,88	-20,8	7,1
7	G-H	459,56	-35,0	7,6
8	H-I	139,72	-12,0	8,6
9	I-J	278,72	-9,0	3,2
10	J-K	201,25	0,0	0,0
11	K-L	524,08	10,5	2,0
12	L-M	459,72	11,5	2,5
13	M-N	314,56	10,0	3,2

4.4.3. Radius Tikungan

Perhitungan radius tikungan (Lampiran E) dilakukan terhadap segmen jalan tikungan dan diperoleh nilai sebesar 9,56 m . Rincian jari-jari tikungan aktual dapat dilihat pada Tabel 4.3.

Tabel 4.3
Jari-jari Tikungan Aktual

Segmen Jalan (m)	Lebar Segmen (m)	Jari-jari Tikungan Aktual (m)
A-B	31,66	8,45
I-J	29,25	8,56

4.4.4. Superelevasi

Perhitungan superelevasi dilakukan pada setiap segmen jalan tikungan. Didapatkan hasil perhitungan (Lampiran E) untuk superelevasi sebesar 1,3 m/m. Rincian superelevasi aktual dapat dilihat pada Tabel 4.4.

Tabel 4.4
Superelevasi Aktual

Segmen Jalan (m)	Lebar Segmen (m)	Superelevasi Aktual (m/m)	Beda Tinggi Aktual (m)
A-B	31,66	1,10	0,4
I-J	29,25	1,0	0,3

menunggu perapian *front*. Berikut hambatan kerja pada alat gali-muat dan alat angkut:

Tabel 4.
Delay Time Alat Gali-Muat dan Alat Angkut

Waktu Kerja Efektif Alat Muat		
Hambatan kerja	Waktu	satuan
Perapian <i>front</i>	2,4	menit
Menunggu <i>dump truck</i>	4,1	menit
<i>Positioning excavator</i>	1,5	menit
<i>Move equipment bulldozer</i>	4,4	menit
Waktu Kerja Efektif Alat Angkut		
Hambatan kerja	Waktu	satuan
Manuver	5,2	menit
Menunggu perapian <i>front</i>	6,3	menit
Berpindah <i>front</i>	6,8	menit

Efisiensi kerja yang didapat sebesar 75% dan alat angkut sebesar 70%, dengan target dari perusahaan untuk efisiensi alat gali-muat dan alat angkut yaitu sebesar 80%. Perhitungan efisiensi kerja alat mekanis dapat dilihat pada Lampiran H dan I.

4.7. Konsumsi Bahan Bakar

Kapasitas tanki pada DT Caterpillar 785C sebesar 1.893 liter. Pada kondisi aktual didapatkan konsumsi bahan bakar sebesar 117 liter/jam. Didapatkan waktu bahan bakar habis selama 16 jam. Untuk perhitungan konsumsi bahan bakar dapat dilihat pada Lampiran J.

4.8. Produktivitas Alat Mekanis

Berdasarkan dari perhitungan didapatkan kemampuan produktivitas satu unit *Backhoe* Hitachi EX-3600 dan sepuluh unit DT Caterpillar 785C pada bulan Mei (Lampiran K dan L) seperti pada tabel 4.5.

Tabel 4.5.
Kemampuan Produktivitas Alat Gali-Muat dan Alat Angkut

Jenis Alat Mekanis	Jumlah	Target Produktivitas (BCM/jam)	Produktivitas Aktual (BCM/jam)
<i>Backhoe</i> Hitachi EX-3600	1	1.350	1.337,89
DT Caterpillar 785C	10	1.140	1.085,12

4.8. Faktor Keserasian (*Match Factor*)

Perhitungan nilai *match factor* dapat dilihat pada Lampiran M dan hasilnya dapat dilihat pada tabel 4.6. Pada tabel tersebut diperoleh nilai *match factor* kurang dari satu yang artinya alat gali-muat bekerja kurang dari 100% sedangkan alat angkut bekerja 100%. Sehingga terdapat waktu tunggu bagi alat gali-muat karena menunggu alat angkut yang belum datang.

Tabel 4.6
Hasil *Match Factor*

Alat Gali-Muat	Alat Angkut	Match Factor
1 Unit <i>Backhoe</i> Hitachi EX-3600	10 Unit DT Caterpillar 785C	0,9

BAB V

PEMBAHASAN

5.1. Kemampuan Produktivitas Alat Gali-Muat dan Alat Angkut

Berdasarkan hasil pengolahan data didapatkan produktivitas alat *Backhoe* Hitachi EX-3600 sebesar 1.337,90 BCM/jam, dan DT Caterpillar 785C sebesar 108,97 BCM/jam. Berdasarkan hasil tersebut target produktivitas dari alat *Backhoe* Hitachi EX-3600 dan DT Caterpillar 785C belum memenuhi dari target yang sudah ditetapkan yaitu sebesar 1.350 BCM/jam dan 114 BCM/jam, hal tersebut dikarenakan belum optimalnya waktu edar dan masih rendahnya efisiensi kerja.

Waktu edar yang tinggi disebabkan oleh waktu perjalanan alat angkut yang tinggi akibat kecepatan alat angkut yang belum optimal, sedangkan rendahnya efisiensi kerja dikarenakan masih terdapat hambatan kerja yang seharusnya dapat dihindari. Upaya peningkatan produktivitas difokuskan pada kedua penyebab ketidaktercapaian tersebut. Pengoptimalan waktu edar dan efisiensi kerja untuk dapat meningkatkan kinerja dari alat gali-muat dan alat angkut sehingga produktivitas alat dapat tercapai.

5.2. Analisis Faktor Penyebab Ketidaktercapaian Target Produktivitas

Terdapat beberapa faktor yang mempengaruhi tidak tercapainya target produktivitas alat gali-muat dan alat angkut. Berikut merupakan hasil dari analisis faktor-faktor yang mempengaruhi dari kinerja alat gali-muat dan alat angkut.

5.2.1. Kondisi Lantai Kerja pada *Front* Penambangan

Kondisi lantai kerja pada *front* penambangan mempengaruhi waktu edar alat angkut pada saat melakukan manuver untuk dilakukan pemuatan. Kondisi aktual dilapangan lantai kerja pada *front* penambangan kurang baik yakni tidak rata atau bergelombang, sehingga proses pemosisian alat angkut memerlukan waktu lebih lama. Kondisi lantai kerja pada *front* dapat dilihat pada gambar 4.2. Untuk waktu rata-rata manuver alat DT Caterpillar 785C sebesar 25,95 detik.

5.2.2. Swell Factor dan Bucket Fill Factor

Perhitungan faktor pengembangan material (*swell factor*) dari material *overburden* didapatkan 0,83, sehingga *swell factor* bukan merupakan faktor penyebab tidak tercapainya target produktivitas. Rata-rata *Bucket fill factor* dari 4 kali *passing* alat *Backhoe* Hitachi EX-3600 memiliki nilai 91,1% dan besarnya ini sudah baik menurut KEPMEN ESDM 1827 K/30/MEM/2018. Namun untuk nilai *bucket fill factor* dapat bisa ditingkatkan lagi untuk mencapai target produktivitas.

5.2.3. Pola Pemuatan

Pola pemuatan yang digunakan di lapangan berdasarkan kedudukan alat *backhoe* Hitachi EX-3600 dan DT Caterpillar 785C yaitu pola pemuatan *top loading*. Pola pemuatan ini telah dipilih dengan tepat dikarenakan lengan *backhoe* dapat melakukan pembongkaran dengan lebih efisien ke arah bawah dan dapat memudahkan operator alat gali-muat untuk lebih leluasa melihat dan menempatkan material ke dalam *vessel*.

Berdasarkan penempatan posisi DT Caterpillar 785C menggunakan teknik *single side loading* dan *double side loading*. Ketika menggunakan *single back up* akan mengakibatkan waktu terbuang untuk memposisikan alat angkut sampai siap dimuat. Untuk itu sebaiknya selalu menggunakan teknik *double back up* jika *front* memungkinkan.

5.2.4. Waktu Edar (Cycle Time)

Waktu edar merupakan faktor yang memberi pengaruh besar terhadap produktivitas dari alat gali dan alat gali-muat. Target waktu edar alat *Backhoe* Hitachi EX-3600 yaitu 0,5 menit, sedangkan aktual di lapangan didapatkan waktu edar alat *Backhoe* Hitachi EX-3600 rata-rata sebesar 0,6 menit. Hal ini disebabkan adanya waktu hambatan seperti: tingkat kekerasan material yang digali, kondisi material, sudut putar alat, dan keterampilan operator. Adanya hambatan tersebut menyebabkan efisiensi kerja alat gali-muat kurang optimal.

Target waktu edar alat angkut DT Caterpillar 785C dengan jarak 4,1 km yaitu 24 menit dengan kecepatan rata-rata 24 km/jam. Sedangkan waktu edar aktual rata-rata yaitu 26 menit dengan kecepatan rata-rata 22,64 km/jam. Sehingga terdapat selisih dari waktu edar alat angkut DT Caterpillar 785C. Hal ini disebabkan karena,

kondisi jalan angkut, geometri jalan angkut, dan adanya *unit support* seperti *water truck* dan *motor grader* yang dapat memperlambat perjalanan alat angkut.

5.2.5. Geometri Jalan Angkut

1. Lebar Jalan Angkut

Berdasarkan perhitungan untuk lebar jalan angkut 2 jalur pada keadaan jalan lurus yang mampu dilewati DT Caterpillar 785C adalah minimal 24 m dan lebar tikungan minimal 29 m dengan radius tikungan minimal 18,76 m. Dari hasil pengamatan dilapangan lebar jalan tikungan dan radius tikungan sudah melebihi diatas standar yang telah ditentukan. Namun untuk lebar jalan lurus terdapat 2 segmen yang belum memenuhi standar minimum, yaitu segmen jalan C-D (22,35 m) dan segmen jalan F-G (22,90 m). Sehingga lebar 2 segmen tersebut mempengaruhi dari kecepatan alat angkut.

2. Kemiringan Jalan Angkut

Kemiringan jalan berdasarkan Keputusan Menteri ESDM No. 1827K/30/MEM/2018 maksimal kemiringan jalan sebesar 12%, namun untuk aturan di perusahaan maksimal kemiringan jalan yaitu sebesar 8%. Sehingga terdapat 1 segmen jalan yang belum memenuhi standar perusahaan yaitu pada segmen jalan H-1 (8,56%). Hal tersebut menyebabkan penambahan dalam waktu perjalanan muat alat angkut.

3. Radius Tikungan

Berdasarkan hasil perhitungan didapatkan rekomendasi untuk radius tikungan sebesar 9,56 m. Terdapat dua segmen jalan tikungan yang belum memenuhi yaitu pada segmen A-B (8,45 m) dan I-J (8,56 m).

4. Superelevasi

Berdasarkan perhitungan didapatkan rekomendasi untuk superelevasi sebesar 1,3 m/m. Terdapat Terdapat dua segmen jalan tikungan yang belum memenuhi yaitu pada segmen A-B (1,10 m) dan I-J (0,96 m).

5.2.6. Efisiensi Kerja

Berdasarkan pengambilan data dilapangan didapatkan waktu kerja efektif untuk alat *backhoe* Hitachi EX-3600 sebesar 45 menit dan alat DT Caterpillar 785C sebesar 42 menit. Sehingga didapatkan efisiensi kerja untuk alat gali-muat sebesar 75% dan untuk alat angkut sebesar 70%. Efisiensi kerja tersebut belum memenuhi

dari target efisiensi kerja dari perusahaan yaitu sebesar 80%. Belum memenuhi efisiensi kerja disebabkan besarnya waktu hambatan kerja dari alat gali-muat dan angkut.

Hambatan kerja yang terdapat pada alat gali-muat yaitu perapian *front* selama 2,4 menit, menunggu *dump truck* selama 6,8 menit, *positioning Excavator* selama 1,5 menit dan *move equipment bulldozer* selama 4,4 menit. Untuk alat DT Caterpillar hambatan kerjanya yaitu pada saat manuver alat selama 5,2 menit, menunggu perapian *front* selama 6,3 menit, dan berpindah unit selama 6,8 menit dikarenakan menggantikan 2 unit yang sedang mengisi bahan bakar per jam.

5.3. Upaya Peningkatan Produktivitas Alat

Upaya yang dapat dilakukan untuk meningkatkan kemampuan produktivitas alat gali-muat dan alat angkut dengan cara sebagai berikut:

5.3.1. Perbaikan Geometri Jalan Angkut

1. Lebar Jalan Angkut

Geometri lebar jalan angkut yang belum memenuhi standar terdapat pada lebar jalan lurus. Perbaikan lebar jalan lurus dapat dilakukan pada segmen jalan C- D (23,35 m) dan segmen jalan F-G (22,9 m), dengan membuat lebar menjadi 24 m atau lebih, sesuai standar perhitungan minimal lebar jalan yang dapat dilalui alat angkut DT Caterpillar 785C.

2. Kemiringan Jalan Angkut

Perbaikan *grade* jalan dapat dilakukan pada segmen jalan H-1 (8,6%) dengan membuat *grade* jalan kurang dari 8%.

3. Radius Tikungan

Perbaikan untuk radius tikungan dapat dilakukan pada segmen A-B dan I- J. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada tabel 5.1.

Tabel 5.1
Rekomendasi Radius Tikungan

Segmen Jalan (m)	Lebar Segmen (m)	Jari-jari Tikungan Aktual (m)	Rekomendasi Jari-Jari Tikungan (m)
A-B	31,66	8,45	9,56
I-J	29,25	8,56	9,56

4. Superelevasi

Perbaikan untuk superelevasi dapat dilakukan pada segmen A-B dan I-J. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada tabel 5.2.

Tabel 5.2
Rekomendasi Superelevasi

Segmen Jalan (m)	Lebar Segmen (m)	Superelevasi Aktual (m/m)	Beda Tinggi Aktual (m)	Rekomendasi Superelevasi (m/m)	Rekomendasi Beda Tinggi (m)
A-B	31,60	1,10	0,40	1,3	0,6
I-J	28,076	0,95	0,32	1,3	0,5

5. Cross Slope

Berdasarkan KEPMEN ESDM No.1827.K/30/MEM/2018, *cross slope* paling kurang sebesar 2% atau 20 mm/m. Hal tersebut berarti setiap 1 m jarak mendatar terdapat beda tinggi sebesar 20 mm. Berdasarkan hasil perhitungan *cross slope* tertinggi pada segmen 54,06 cm dan terendah 22,35 cm

Perbaikan geometri jalan akan meningkatkan kecepatan dari alat angkut saat *travel load* dan *travel empty*, sehingga mengurangi waktu edar dari alat angkut. Kecepatan rata-rata sebelum dilakukan perbaikan lebar jalan lurus dan *grade* jalan angkut adalah 22,6 km/jam dengan waktu edar rata-rata 26 menit, sedangkan setelah perbaikan meningkat menjadi 24 km/jam, dengan waktu edar 24,42 menit. Sehingga waktu edar DT Caterpillar 785C mendekati target dari waktu edar perusahaan sebesar 24 menit.

5.3.2. Peningkatan Efisiensi Kerja Alat

Terdapatnya 2 unit yang mengisi bahan bakar akan mengurangi dari waktu kerja efektif alat angkut dan alat muat, sehingga efisiensi kerja alat akan berkurang. Maka dilakukan pembuatan penjadwalan pengisian bahan bakar agar tidak terjadi 2 unit yang mengisi bahan bakar dalam perjamnya. Berdasarkan hasil perhitungan konsumsi bahan bakar DT Caterpillar 785c yaitu selama 16 jam. Didapatkan dengan unit keseluruhan sebanyak 10 unit dalam satu *fleet*, akan mengisi bahan bakar setiap 1,6 jam sekali. Oleh karena itu disarankan untuk mengatur jadwal pengisian bahan bakar selama 1 jam maksimum 1 unit.

Dengan adanya penjadwalan akan menghilangkan terjadinya 2 unit melakukan pengisian bahan bakar dalam jam yang sama. Sehingga efisiensi kerja

alat angkut dapat ditingkatkan menjadi 72% dari 70% dan alat gali-muat menjadi 80%.

5.3.3. Produktivitas Alat Gali-Muat dan Alat Angkut Setelah Perbaikan

Setelah dilakukan upaya perbaikan terhadap waktu edar alat angkut dan efisiensi kerja, didapatkan produktivitas alat gali-muat sebesar 1.427,09 BCM/jam dengan efisiensi kerja 80% dan produktivitas alat angkut 1.161,14 BCM/jam per unit dengan efisiensi kerja 75%. Peningkatan produktivitas alat gali-muat yang signifikan terjadi karena adanya peningkatan kecepatan alat angkut saat melakukan *travelling* dan adanya penjadwalan pengisian bahan bakar sehingga tidak terdapatnya 2 unit mengisi bahan bakar dalam 1 jam. Hasil presentase perbandingan peningkatan kemampuan produktivitas dapat dilihat pada tabel 5.1.

Tabel 5.3.
Perbandingan Produktivitas Sebelum dan Setelah dilakukan Perbaikan

Jenis Alat Mekanis	Produktivitas Sebelum (BCM/jam)	Produktivitas Setelah (BCM/jam)	Ketercapaian
Satu Unit <i>Backhoe</i> Hitachi EX- 3600	1.337,89	1.427,09	106%
10 Unit DT Caterpillar 785C	1.085,12	1.161,14	102%

BAB VI

KESIMPULAN

6.1. Kesimpulan

Berdasarkan hasil pembahasan yang telah diuraikan pada bab sebelumnya, maka dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut:

1. Produktivitas aktual bulan Mei pada alat *Backhoe Hitachi Ex-3600* sebesar 1.337,89 Bcm/jam dan Alat angkut DT *Caterpillar 785C* sebesar 108,51 BCM/jam per unit. Sehingga untuk alat gali-muat dan alat angkut, belum memenuhi target produktivitas yaitu sebesar 1.350 BCM/jam dan alat angkut 114 BCM/jam per unit. Untuk ketercapaian efisiensi kerja alat gali-muat yaitu sebesar 75% dari target 80% dan ketercapaian efisiensi kerja alat angkut sebesar 70% dari target 80%.
2. Faktor yang mempengaruhi tidak tercapainya target produktivitas dari alat gali-muat dan alat angkut yaitu:
 - a) Geometri jalan angkut yang belum memenuhi standar sehingga mengurangi kecepatan dari alat angkut, yaitu pada lebar jalan lurus pada segmen jalan C-D (23,35 m) dan F-G (22,90 m) dengan minimum lebar 24 m, *grade* jalan pada segmen H-I yang belum memenuhi standar dari perusahaan sebesar 8,59% dari minimal 8%, radius tikungan pada segmen A-B (8,45 m) dan I-J (8,56 m) dengan rekomendasi sebesar 9,85 m, serta superelevasi pada segmen A-B(1,10 m/m) dan I-J (0,95 m/m) dengan rekomendasi sebesar (1,3 m). Sehingga menyebabkan besarnya *cycle time* dari alat angkut.
 - b) Efisiensi kerja alat gali-muat dan alat angkut yang belum memenuhi standar yaitu minimal sebesar 80%. Rendahnya efisiensi kerja aktual dikarenakan besarnya *delay time*. Besarnya *delay time* akan menurunkan nilai efisiensi kerja dari alat gali-muat dan alat angkut oleh karena itu diperlukan perbaikan terhadap *delay time* untuk meningkatkan efisiensi kerja alat.
3. Upaya peningkatan produktivitas alat gali-muat dan alat angkut dilakukan dengan cara sebagai berikut

- a) Memperbaiki kondisi geometri jalan angkut yaitu pada lebar jalan angkut lurus, *grade* jalan, radius tikungan dan superelevasi yang belum memenuhi. Sehingga meningkatkan kecepatan dari alat angkut dan meningkatkan waktu kerja efektif. Kecepatan rata-rata yang didapatkan sebelum perbaikan yaitu 22,6 Km/jam dan setelah perbaikan jalan yaitu menjadi 24 Km/jam dan rata-rata waktu edar alat angkut DT Caterpillar 785C semula 26 menit menjadi 24,41 menit.
- b) Meningkatkan efisiensi kerja alat angkut dengan membuat penjadwalan pengisian bahan bakar sehingga tidak terdapatnya 2 unit melakukan pengisian bahan bakar dalam 1 jamnya.
- Dengan adanya upaya perbaikan pada lebar jalan angkut lurus, *grade* jalan, radius tikungan, superelevasi dan pembuatan jadwal pengisian bahan bakar. Maka efisiensi kerja alat angkut meningkat menjadi 75% dan alat gali-muat menjadi 80% dengan produktivitas alat angkut sebesar 1.161,14 BCM/jam dan alat gali-muat sebesar 1.427,09 BCM/jam.

6.2. Saran

Saran yang dapat diberikan pada penelitian ini sebagai berikut:

1. Melakukan perbaikan pada geometri jalan angkut dan meningkatkan efisiensi kerja alat gali-muat dan alat angkut.
2. Adanya perbaikan jalan angkut yang *undulating* secara berkala agar mengurangi dari *cycle time* alat angkut.

DAFTAR PUSTAKA

1. Indonesianto, Y. (2014). *Pemindahan Tanah Mekanis*. Yogyakarta: Teknik Pertambangan, UPN “Veteran” Yogyakarta.
2. Hustrulid, W., Kunchta, M., & Martin, R. (2013). *Open Pit Mine Planning and Design* (3 ed). CRC Press. 995 Hal.
3. Kaufman, Walter W., & Ault, James C. (1977). *Design of Surface Mine Haulage Roads*. Washington D.C: United States Departement of The Interior.
4. Prodjosumarto, P. (1996). *Pemindahan Tanah Mekanis*. Bandung: Jurusan Teknik Pertambangan, Institut Teknologi Bandung.
5. Purnomo, H. (2004). *Pengantar Teknik Industri*. Yogyakarta: Graha Ilmu.
6. Setyawan, S., Rahmawati, D., & Atmaja, G.D. 2019. Kajian Teknis Kebutuhan Alat Gali-Muat dan Alat Angkut pada Tambang Batu Andesit PT. Rangka Eka Pratama, Kabupaten Dompu. *Jurnal Ulul Albab*, 24(1), p.15.
7. _____.(2020). *Caterpillar Handbook. 49th Edition*. Peoria, Illinois: Caterpillar Inc.
8. _____.(2018). *Hitachi EX-3600-6*, Hitachi Construction Machinery Australia Pty., Ltd.,
9. _____.(2018). *Keputusan Menteri Energi dan Sumber Daya Mineral Republik Indonesia No. 1827 K/30/MEM/2018 tentang Pedoman Pelaksanaan Kaidah Teknik Pertambangan yang Baik*. Jakarta: Menteri Energi dan Sumber Daya Mineral Republik Indonesia.

LAMPIRAN

LAMPIRAN A

SPESIFIKASI ALAT GALI-MUAT

Backhoe Hitachi EX-3600



Gambar A.1
Foto Alat *Backhoe* Hitachi EX-3600

1. *Merek dan Model* : *Backhoe* Hitachi EX-3600
2. *Operating weight* : 360.000. kg
3. *Engine output* : 1.450 kW @ 1.800 rpm
4. *Kapasitas bucket* : 22 m³
5. *Kecepatan*
 - a. *Kecepatan swing* : 3,2 rpm
 - b. *Kecepatan jalan* : *max* 2.2 km/jam
6. *Kemampuan penggalian*
 - a. *Jangkauan maksimum penggalian* : 18.240 mm
 - b. *Tinggi penumpahan material* : 11.540 mm
 - c. *Kedalaman penggalian maksimal* : 8.630 mm

7. Dimensi (ukuran alat)
 - a. Panjang Total : 24.890 mm
 - b. Lebar Total : 9.420 mm
 - c. Tinggi Total : 7.830 mm
8. *Track*
 - a. *Length track on ground* : 8.660 mm
 - b. *Track with* : 6770 mm
 - c. *Undercarriage width* : 6.660 mm
9. Mesin
 - a. Model : Cummins QSKTA60-CE
10. Sistem Hidrolik
 - a. Pompa hidrolik : Piston
 - b. Aliran pompa pelumas maksimal : 4000 liter/menit
 - c. Tekanan pelumas maksimal : 29.4 Mpa (300 kgf/cm²)
11. Kapasitas bahan bakar : 7.450 liter

LAMPIRAN B

SPESIFIKASI ALAT ANGKUT

DT Caterpillar 785C



Gambar B.1
Foto Alat Angkut DT Caterpillar 785C

1. *Merk dan Model* : RDT Caterpillar 785C
2. *Engine*
 - a. *Model* : Cat® 3512B-EUI
 - b. *Tenaga* : 1.348 HP
3. *Kapasitas payload* : 150.000 kg
4. *Ukuran ban* : 33 R51
5. *Kapasitas tanki* : 1.893 liter
6. *Dimensi truck*

a. Panjang	: 11.024 mm
b. Lebar	: 6.640 mm
c. Tinggi	: 5.122 mm
7. Kapasitas <i>Vessel</i>	: 78 m ³
8. Jarak antar roda depan	: 4.850 mm
9. Jarak antar roda belakang	: 4.285 mm
10. Sudut penyimpangan	: 36°
11. <i>Turning Radius</i>	: 30.600 mm
12. Kecepatan Maksimum	: 55 km/jam

LAMPIRAN C

FAKTOR PENGISIAN MANGKUK

Faktor pengisian mangkuk (*bucket fill factor*) merupakan suatu faktor yang menunjukkan besarnya perbandingan antara kapasitas nyata dengan kapasitas teoritis *bucket*.

Bucket fill factor dapat diperoleh dengan rumus sebagai berikut:

$$\text{BFF} = \frac{V_n}{V_d} \times 100\%$$

Keterangan :

BFF = *Bucket Fill Factor* , %

V_n = Volume nyata, m³

V_d = Volume Teoritis, m³

Tabel C.1

Faktor Pengisian Mangkuk *Backhoe* Hitachi EX-3600

No.	Berat Muatan Pada Alat Angkut (Ton)	Jumlah Curah	Bobot Isi (Ton/m ³)	Volume nyata (m ³)	Volume Teoritis (m ³)	BFF (%)
1	137,1	4	1,7	20,16	22	91,64
2	137,6	4	1,7	20,24	22	91,98
3	150,1	4	1,7	22,07	22	100,33
4	112	4	1,7	16,47	22	74,87
5	124,1	4	1,7	18,25	22	82,95
6	127,3	4	1,7	18,72	22	85,09
7	127,2	4	1,7	18,71	22	85,03
8	144,2	4	1,7	21,21	22	96,39
9	151,6	4	1,7	22,29	22	101,34
10	147,4	4	1,7	21,68	22	98,53
11	128	4	1,7	18,82	22	85,56
12	145,6	4	1,7	21,41	22	97,33

13	131,8	4	1,7	19,38	22	88,10
14	144,5	4	1,7	21,25	22	96,59
15	149,9	4	1,7	22,04	22	100,20
16	127	4	1,7	18,68	22	84,89
17	135,6	4	1,7	19,94	22	90,64
18	141,3	4	1,7	20,78	22	94,45
19	144,1	4	1,7	21,19	22	96,32
20	140,7	4	1,7	20,69	22	94,05
21	137,1	4	1,7	20,16	22	91,64
22	137,6	4	1,7	20,24	22	91,98
23	150,1	4	1,7	22,07	22	100,33
24	124	4	1,7	18,24	22	82,89
25	126,4	4	1,7	18,59	22	84,49
26	118,6	4	1,7	17,44	22	79,28
27	131,5	4	1,7	19,34	22	87,90
28	136,9	4	1,7	20,13	22	91,51
29	136	4	1,7	20,00	22	90,91
30	144	4	1,7	21,18	22	96,26
Rata-rata	136,31	4	1,7	20,05	22	91,1%

Dari data di lapangan didapatkan rata-rata faktor pengisian (FF) yaitu:

$$\begin{aligned}
 \text{BFF} &= \frac{v_n}{v_d} \times 100\% \\
 &= \frac{20,05}{22} \times 100\% \\
 &= 91,1\%
 \end{aligned}$$

LAMPIRAN D

LEBAR MINIMUM *FRONT* PENAMBANGAN

Perhitungan lebar minimum *front* penambangan alat gali-muat *backhoe* Hitachi EX-3600 dengan alat angkut DT Caterpillar 785C yaitu:

$$W_{\min} = 2 (0,5 R_s) + a + M$$

Keterangan :

W_{\min} = Lebar minimum *front* kerja alat, (m)

R_s = Radius ayun alat gali-muat, (m)

a = Jarak tambahan pengaman, (m)

M_t = Lebar alat angkut saat membentuk sudut α , (m)
 $= L_t \cos \alpha + W_t \sin \alpha$

L_t = Panjang alat angkut, (m)

W_t = Lebar alat angkut, (m)

α = Sudut penyimpangan (belok) roda depan, ($^{\circ}$)

Berdasarkan spesifikasi alat gali-muat dan alat angkut didapatkan lebar minimum *front* penambangan sebagai berikut :

R_s = 18,24 m

a = 3 m

L_t = 11,024 m

W_t = 6,64 m

α = 36°

M_t = $L_t \cos \alpha + W_t \sin \alpha$
 $= 11,024 \text{ m} \cos 36^{\circ} + 6,64 \text{ m} \sin 36^{\circ}$
 $= 12,8 \text{ m}$

$W_{\min} = 2 (0,5 R_s) + a + M_t$
 $= 2 (0,5 \times 18,24 \text{ m}) + 3 \text{ m} + 12,8 \text{ m}$
 $= 34,06 \approx 34 \text{ m}$

LAMPIRAN E

GEOMETRI JALAN ANGKUT

E.1. Lebar Jalan pada Jalan Lurus

Penentuan lebar jalan angkut minimum untuk jalan yang lurus didasarkan pada Keputusan Menteri ESDM No.1827K/30/MEM/2018 dimana rumusnya sebagai berikut:

$$L_{min} = 3,5 \times W_t$$

Keterangan:

L_{min} = Lebar pada jalan angkut lurus minimum (m)

W_t = Lebar alat angkut total (m)

Berdasarkan Pengamatan di lapangan diperoleh:

$$W_t = 6,64 \text{ m}$$

Maka,

$$\begin{aligned} L_{min} &= (2 \times 6,64 \text{ m}) + (2+1)(0,5 \times 6,64 \text{ m}) \\ &= 23,24 \approx 24 \text{ m} \end{aligned}$$

E.2. Lebar Jalan pada Jalan Tikungan

Lebar minimum jalan angkut pada tikungan dapat dihitung dengan menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$W = N (U + Fa + Fb + Z) + C$$

$$C = Z = 0,5 (U + Fa + Fb)$$

$$Fa = Ad \times \sin \alpha$$

$$Fb = Ab \times \sin \alpha$$

Keterangan:

W = Lebar minimum jalan angkut pada tikungan (m)

N = Jumlah jalur

U = Jarak jejak roda kendaraan (m)

F_a = Selisih lebar jejak ban depan dan belakang saat tikungan dilihat dari depan, (m)

F_b = Selisih lebar jejak ban depan dan belakang saat tikungan dilihat dari belakang, (m)

A_d = Lebar jantai depan (Jarak as roda depan dengan bagian depan truk) (m)

A_b = Lebar jantai belakang (Jarak as roda belakang dengan bagian belakang truk) (m)

α = Sudut penyimpangan (belok) roda depan

C = Jarak antara dua truk yang bersimpangan (m)

Z = Jarak sisi luar truk ke tepi jalan (m)

Berdasarkan dimensi truk DT Caterpillar 785C, diperoleh data sebagai berikut:

Jarak jejak roda kendaraan (U) = 4,85 m

Jarak as roda depan dengan bagian depan truk (A_d) = 2,43 m

Jarak as roda belakang dengan bagian belakang truk (A_b) = 3,41 m

Jarak sumbu roda depan dengan bagian belakang = 5,62 m

Sudut penyimpangan roda (α) = 36°

Dari data dimensi yang telah didapat akan dilakukan perhitungan, sebagai berikut:

$F_a = 2,41 \text{ m} \sin(36^\circ) = 1,429 \text{ m}$

$F_b = 3,41 \text{ m} \sin(36^\circ) = 2,004 \text{ m}$

Dimana,

$C = Z = 0,5 \times (4,85 \text{ m} + 1,429 \text{ m} + 2,004 \text{ m})$

$= 0,5 \times (8,284 \text{ m})$

$= 4,142 \text{ m}$

Maka,

$W = 2(4,85 \text{ m} + 1,429 \text{ m} + 2,004 \text{ m} + 4,142 \text{ m}) + 4,142 \text{ m}$

$= 28,993$

$\approx 29 \text{ m}$

Tabel E.1

Perhitungan Lebar Jalan Lurus dan Jalan Tikungan

No.	SEGMENT	LEBAR	PANJANG	JALAN	KETERANGAN
1	A-B	31,66	234,68	Tikungan	Memenuhi
2	B-C	31,61	205,58	Lurus	Memenuhi
3	C-D	22,35	77,27	Lurus	Tidak Memenuhi
4	D-E	31,15	204,65	Lurus	Memenuhi
5	E-F	29,46	233,48	Lurus	Memenuhi
6	F-G	22,90	292,88	Lurus	Tidak Memenuhi
7	G-H	31,60	459,56	Lurus	Memenuhi
8	H-I	31,38	139,72	Lurus	Memenuhi
9	I-J	39,22	278,72	Tikungan	Memenuhi
10	J-K	54,06	201,25	Lurus	Memenuhi
11	K-L	48,88	524,08	Lurus	Memenuhi
12	L-M	33,43	459,72	Lurus	Memenuhi
13	M-N	28,76	314,56	Lurus	Memenuhi

E.3. Kemiringan Jalan Angkut (*Grade*)

Kemiringan jalan angkut akan berpengaruh pada kecepatan alat angkut dalam melewati tanjakan dan melakukan pengereman saat melewati turunan. Kemiringan jalan dinyatakan dalam persen (%), misalnya kemiringan 3% artinya dalam jarak 100 m terdapat perbedaan ketinggian titik awal dan titik akhir sebesar 3 m. Berikut rumus dan hasil perhitungan kemiringan jalan angkut:

$$Grade (\alpha) = \frac{\Delta h}{\Delta x} (100\%)$$

Keterangan:

Δh = Beda tinggi antara dua titik yang diukur (m)

Δx = Jarak datar antara dua titik yang diukur (m)

α = Sudut kemiringan pada tanjakan

Tabel E.2

Perhitungan Kemiringan Jalan Angkut

No.	SEGMENT	JARAK DATAR	BEDA TINGGI	KEMIRINGAN
1	A-B	234,68	-5,0	2,1
2	B-C	205,58	-4,5	2,2

3	C-D	77,27	-0,5	0,6
4	D-E	211,55	-5,0	2,4
5	E-F	233,48	-9,2	3,9
6	F-G	292,88	-20,8	7,1
7	G-H	459,56	-35,0	7,6
8	H-I	139,72	-12,0	8,6
9	I-J	278,72	-9,0	3,2
10	J-K	201,25	0,0	0,0
11	K-L	524,08	10,5	2,0
12	L-M	459,72	11,5	2,5
13	M-N	314,56	10,0	3,2

E.4. Jari-jari Tikungan

Dalam menghitung jari-jari tikungan dapat menggunakan persamaan:

$$R = \frac{W}{\sin \beta}$$

Keterangan:

R = Radius tikungan (m)

W = Jarak poros roda depan dengan roda belakang (m)

β = Sudut penyimpangan roda (°)

Maka,

$$R = \frac{Wb}{\sin \beta} = \frac{5,62}{\sin 36^\circ} = 9,56 \text{ m}$$

E.5. Superelevasi

Dalam menghitung superelevasi dapat menggunakan persamaan:

$$(e + f) = \frac{V^2}{127 R}$$

Keterangan:

$e + f$ = Nilai superelevasi berdasarkan sentrifugal dan faktor gesekan (m/m)

V = Kecepatan rencana kendaraan (km/jam)

R = Radius tikungan (m)

Untuk nilai koefisien gesek melintang menggunakan persamaan:

$$f = -0,0065 v + 0,192$$

Beda tinggi yang direkomendasikan dapat dihitung dengan menggunakan persamaan-

$$H_{tr} (m) = L_t \times \sin \alpha$$

Keterangan:

H_{tr} = Beda tinggi rekomendasi (m)

H_{tm} = Beda tinggi aktual (m)

α = Arctan superelevasi ($^{\circ}$)

Contoh perhitungan pada segmen A-B,

$$(e + f) = \frac{V^2}{127 R}$$

Untuk nilai koefisien gesek melintang akan selalu sama karena kecepatan yang digunakan dalam perhitungan merupakan kecepatan maksimum di jakan angkut yaitu 35 km/jam. Diperoleh koefisien gesek sebagai berikut:

$$\begin{aligned} f &= -0,0065 (35) + 0,192 \\ &= 0,16 \end{aligned}$$

$$(e + 0,16) = \frac{(35)^2}{127 \times 9,56} = 1,31 \text{ m/m}$$

Perhitungan rekomendasi beda tinggi,

$$\alpha = \text{Arctan} (1,31) = 0,91^{\circ}$$

$$H_{tr} = 31,66 \times \sin (0,91^{\circ}) = 0,6 \text{ m}$$

E.6. Cross Slope

Berdasarkan KEPMEN ESDM No. 1827.K/30/MEM/2018 *cross slope* paling kurang sebesar 2% atau 20 mm/m, hak ini berarti setiap 1 m jarak mendatar terdapat beda tinggi sebesar 20 mm. Untuk menghitung beda tinggi menggunakan persamaan.

$$P = \frac{1}{2} \times \text{Lebar Jalan}$$

Contoh pengerjaan pada segmen C

LAMPIRAN F

WAKTU EDAR ALAT GALI-MUAT

Perhitungan waktu edar alat gali-muat didapatkan dengan memperhatikan dan menghitung waktu yang dibutuhkan dalam melakukan penggalian hingga pemuatan ke alat angkut. Persamaan untuk menghitung waktu edar alat gali-muat sebagai berikut: Dari pengamatan diperoleh data pengukuran waktu edar alat *Backhoe* Hitachi EX-3600 sebagai berikut:

$$C_{tm} = T_{m1} + T_{m2} + T_{m3} + T_{m4}$$

Keterangan:

C_{tm} = Waktu edar alat gali-muat (detik)

T_{m1} = Waktu untuk mengisi mangkuk (detik)

T_{m2} = Waktu untuk mengayun mangkuk bermuatan (detik)

T_{m3} = Waktu untuk menumpahkan material (detik)

T_{m4} = Waktu untuk mengayun mangkuk kosong (detik)

Tabel F.1
Waktu Edar Alat *Backhoe* Hitachi EX-3600

No.	Tm1	Tm2	Tm3	Tm4	Waktu Edar
	(Detik)	(Detik)	(Detik)	(Detik)	(Detik)
1	22,57	7,29	4,32	4,14	38,32
2	18,56	8,2	3,77	7,56	38,09
3	13,29	7,37	5,82	7,14	33,62
4	12,83	8,17	4,63	5,79	31,42
5	11,14	7,14	3,42	4,13	25,83
6	11,1	8,63	4,24	7,55	31,52
7	11,3	8	4,11	5,78	29,19
8	14,43	6,67	5,2	4,87	31,17
9	13,73	8,35	4,35	4,55	30,98
10	13,54	8,41	4,21	5,8	31,96
11	15,29	6,58	5,3	6,9	34,07

12	15,5	7,21	3,98	5,83	32,52
13	13,73	8,93	4	5,22	31,88
14	17,69	6,77	5,68	5,68	35,82
15	15,87	7,94	4,21	6,88	34,9
16	19,63	8,13	5,72	8,36	41,84
17	13,79	8,52	3,9	5,71	31,92
18	18,33	6,92	4,7	5,11	35,06
19	14,9	8,87	3,61	6,72	34,1
20	12,83	7,34	4,37	5,65	30,19
21	13,58	6,82	6,06	5,24	31,7
22	14,44	7,32	4,39	8,04	34,19
23	14,76	4,56	3,63	5,14	28,09
24	17,91	6,82	6,06	5,24	36,03
25	15,82	8,61	4,12	6,85	35,4
26	14,48	8,26	4,21	8,89	35,84
27	14,71	7,99	4,71	7,48	34,89
28	16,15	7,72	3,91	7,65	35,43
29	15,17	7,2	3,81	4,83	31,01
30	16,44	8,75	4	9,14	38,33
Total	453,51	229,49	134,44	187,87	1005,31
Rata-rata	15,117	7,650	4,481	6,262	33,510

Dari hasil perhitungan didapatkan rata-rata waktu edar alat gali-muat yaitu 33,51 detik atau 0,56 menit.

LAMPIRAN G

WAKTU EDAR ALAT ANGKUT

Waktu edar alat angkut merupakan total waktu dari mengatur posisi alat angkut, waktu diisi muatan, waktu perjalanan mengangkut material, waktu mengatur posisi penumpahan muatan, waktu menumpahkan muatan, dan waktu perjalanan kembali kosong. Persamaan untuk menghitung waktu edar alat angkut sebagai berikut:

$$CTa = Ta_1 + Ta_2 + Ta_3 + Ta_4 + Ta_5 + Ta_6$$

Keterangan:

CTa = Waktu edar alat angkut (detik)

Ta₁ = Waktu untuk mengatur posisi truk (detik)

Ta₂ = Waktu untuk pengisian muatan (detik)

Ta₃ = Waktu untuk perjalanan mengangkut muatan (detik)

Ta₄ = Waktu untuk mengatur posisi penumpahan muatan (detik)

Ta₅ = Waktu untuk menumpahkan muatan (detik)

Ta₆ = Waktu untuk perjalanan kembali kosong (detik)

Tabel G.1
Waktu Edar Alat Angkut DT Caterpillar 785C

No.	Ta1	Ta2	Ta3	Ta4	Ta5	Ta6	Waktu Edar
	(Detik)	(Detik)	(Detik)	(Detik)	(Detik)	(Detik)	(Detik)
1	34,66	136,8	794,37	31,10	37,63	589,90	1.624,46
2	26,15	135,17	693,05	26,84	39,26	560,85	1.481,32
3	21,05	127,60	691,79	25,40	38,17	564,65	1.468,65
4	28,88	129,80	769,09	29,75	48,42	612,75	1.618,68
5	22,9	133,40	693,59	29,88	37,30	559,23	1.476,30
6	17,96	134,70	763,35	28,52	38,17	642,70	1.625,40
7	27,98	145,80	664,11	28,93	39,28	637,69	1.543,78
8	28,28	155,70	680,60	34,78	37,62	590,97	1.527,95
9	23,82	156,80	723,06	26,00	40,12	690,82	1.660,62

10	26,63	118,61	720,50	25,87	29,97	560,50	1.482,08
11	18,64	138,47	668,88	34,73	43,02	592,80	1.496,54
12	19,51	118,55	667,48	33,3	41,65	678,90	1.559,39
13	22,54	117,98	747,22	23,65	31,54	657,60	1.600,52
14	24,75	154,58	666,12	28,35	43,88	579,80	1.497,48
15	16,64	112,37	661,15	29,91	32,38	636,57	1.489,01
16	25,87	119,95	667,68	33,76	41,60	616,96	1.505,82
17	36,3	145,90	696,15	33,99	38,31	551,55	1.502,20
18	20,74	144,02	685,21	30,97	39,45	594,37	1.514,76
19	34,32	110,40	760,64	26,64	34,64	638,08	1.604,72
20	26,96	125,07	732,09	32,78	25,83	649,31	1.592,03
21	19,56	118,8	699,15	40,28	38,02	542,55	1.458,36
22	23,47	140,34	739,76	36,62	42,89	580,74	1.563,81
23	23,84	137,8	692,21	30,25	34,16	563,39	1.481,64
24	31,61	143,91	740,78	34,88	46,68	578,90	1.576,76
25	37,34	116,19	764,25	28,42	40,07	557,27	1.543,53
26	38,59	103,03	772,19	38,58	45,80	603,43	1.601,62
27	17,75	108,10	720,50	33,81	37,10	560,90	1.478,16
28	22,00	112,15	770,60	39,59	38,78	588,70	1.571,82
29	23,75	126,74	730,80	24,79	36,29	570,80	1.513,17
30	36,24	134,80	747,64	30,10	45,18	620,08	1.614,04
Jumlah	778,73	3903,53	21523,9	932,47	1163,21	17972,7	46.274,60
Rata-rata	25,96	130,12	717,46	31,08	38,77	599,09	1542,49

Dari hasil perhitungan didapatkan rata-rata waktu edar alat gali-muat sebesar 1542,49 detik atau 25,7 menit.

LAMPIRAN H

EFISIENSI KERJA ALAT GALI-MUAT

Efisiensi kerja adalah perbandingan antara waktu kerja efektif dengan waktu yang tersedia berdasarkan kondisi dilapangan. Berdasarkan data yang telah didapatkan dapat dihitung dengan menggunakan persamaan sebagai berikut

$$Ek = \frac{We}{Wt} \times 100$$

Keterangan:

We = Waktu kerja efektif

Wt = Waktu kerja tersedia

Ek = Efisiensi Kerja

Dari pengambilan data di lapangan didapatkan efisiensi kerja alat *Backhoe* Hitachi EX-3600 sebagai berikut:

Waktu tersedia (Wt) = 60 menit

Total waktu hambatan (Wh) = 15 menit

Waktu kerja efektif (We) = 45 menit

$$\begin{aligned} EK &= \frac{We}{Wt} \times 100\% \\ &= \frac{45}{60} \times 100\% \\ &= 75\% \end{aligned}$$

LAMPIRAN I

EFISIENSI KERJA ALAT ANGKUT

Efisiensi kerja adalah perbandingan antara waktu kerja efektif dengan waktu yang tersedia berdasarkan kondisi dilapangan. Berdasarkan data yang telah didapatkan dapat dihitung dengan menggunakan persamaan sebagai berikut

$$Ek = \frac{We}{Wt} \times 100$$

Keterangan:

We = Waktu kerja efektif

Wt = Waktu kerja tersedia

Ek = Efisiensi Kerja

Dari pengambilan data di lapangan didapatkan efesiensi kerja alat angkut DT Caterpillar 785C sebagai berikut:

Waktu tersedia (Wt) = 60 menit

Total waktu hambatan (Wh) = 18 menit

Waktu kerja efektif (We) = 42 menit

$$\begin{aligned} EK &= \frac{We}{Wt} \times 100\% \\ &= \frac{42}{60} \times 100\% \\ &= 70\% \end{aligned}$$

LAMPIRAN J

KONSUMSI BAHAN BAKAR

Konsumsi bahan bakar bisa diketahui kapan akan habisnya dan kapan akan melakukan pengisian bahan bakar. Berikut perhitungan mengenai konsumsi bahan bakar.

Data yang di peroleh

Tabel J
Data Konsumsi Bahan Bakar DT Caterpillar 785C PT.MTN

NAMA UNIT			FUEL CONS	HOURS METER	LITER/HRS
TR-5001	DT Caterpillar 785C	MTN	4.447	44,70	99,49
TR-5002	DT Caterpillar 785C	MTN	36.426	300,50	121,22
TR-5003	DT Caterpillar 785C	MTN	35.208	300,70	117,09
TR-5004	DT Caterpillar 785C	MTN	21.707	189,50	114,55
TR-5005	DT Caterpillar 785C	MTN	19.330	154,80	124,87
TR-5006	DT Caterpillar 785C	MTN	37.056	322,50	114,90
TR-5007	DT Caterpillar 785C	MTN	38.861	320,60	121,21
TR-5008	DT Caterpillar 785C	MTN	16.448	130,00	126,52
TR-5009	DT Caterpillar 785C	MTN	24.386	204,80	119,07
TR-5010	DT Caterpillar 785C	MTN	6.127	60,60	101,11
TR-5011	DT Caterpillar 785C	MTN	35.715	306,30	116,60
TR-5012	DT Caterpillar 785C	MTN	37.468	331,60	112,99

TR-5013	DT Caterpillar 785C	MTN	54.870	460,20	119,23
TR-5014	DT Caterpillar 785C	MTN	32.251	264,01	122,16
TR-5015	DT Caterpillar 785C	MTN	44.385	370,00	119,96
TR-5016	DT Caterpillar 785C	MTN	47.787	425,70	112,26
TR-5017	DT Caterpillar 785C	MTN	43.332	386,30	112,17
TR-5018	DT Caterpillar 785C	MTN	29.325	249,50	117,54
TR-5019	DT Caterpillar 785C	MTN	45.657	371,10	123,03
TR-5020	DT Caterpillar 785C	MTN	52.327	447,90	116,83
TR-5021	DT Caterpillar 785C	MTN	43.665	371,00	117,70
Rata-rata					117

Maka,

Kapasitas tanki = 1.893 liter

Kondisi aktual konsumsi bahan bakar = 117 liter/jam

Waktu pengisian bahan bakar = $\frac{1.893}{117} = 16,17 \text{ jam} \approx 16 \text{ jam}$

Dalam satu *fleet* terdapat 10 unit maka = $\frac{16}{10} = 1,6 \text{ liter/unit}$

LAMPIRAN K

PRODUKTIVITAS ALAT GALI-MUAT

Produktivitas alat gali-muat adalah besarnya produktivitas yang dapat dicapai secara kenyataan kerja alat gali-muat. Produktivitas alat gali-muat dapat dihitung dengan menggunakan persamaan berikut:

$$Qm = \frac{3600}{Ctm} \times Cb \times BFF \times Sf \times Ek$$

Keterangan:

Qm = Produktivitas alat gali-muat (BCM/jam)

Ctm = Waktu edar alat gali-muat (detik)

Cb = Kapasitas *bucket* (m³)

BFF = *Bucket fill factor* (%)

Sf = *Swell factor* (%)

Ek = Efisiensi kerja (%)

Dari pengambilan data di lapangan didapatkan produktivitas alat *Backhoe* Hitachi EX-3600 sebagai berikut:

Waktu edar alat gali-muat (Ctm) = 33,51 detik

Kapasitas *bucket* (Cb) = 22 m³

Bucket fill factor (Bff) = 91,1%

Swell factor (Sf) = 0,83

Efisiensi kerja (Ek) = 75%

$$\begin{aligned} Qm &= \frac{3600}{Ctm} \times Cb \times BFF \times Sf \times Ek \\ &= \frac{3600}{33,51} \times 22 \text{ m} \times 91,1\% \times 0,83 \times 75\% \\ &= 1337,9 \text{ Bcm/jam} \end{aligned}$$

LAMPIRAN L

PRODUKTIVITAS ALAT ANGKUT

Produktivitas alat angkut Caterpillar 785C dapat dihitung dengan menggunakan persamaan berikut:

$$Q_{ta} = n \times \frac{3600}{C_{ta}} \times C_b \times BFF \times S_f \times E_k$$

Keterangan:

Q_{ta} = Produktivitas alat angkut (BCM/jam)

C_{ta} = Waktu edar alat angkut (detik)

C_b = Kapasitas *bucket* (m^3)

BFF = *Bucket fill factor* (%)

S_f = *Swell factor* (%)

E_k = Efisiensi kerja (%)

n = Jumlah curah

Dari pengambilan data di lapangan didapatkan produktivitas alat gali-muat Caterpillar 785C sebagai berikut:

Waktu edar alat angkut (C_{ta}) = 1536,05 detik

Kapasitas *bucket* (C_b) = 22 m^3

Bucket fill factor (Bff) = 91,1%

Swell factor (S_f) = 0,83

Efisiensi kerja (E_k) = 70%

Jumlah curah (n) = 4

$$\begin{aligned} Q_{ta} &= n \times \frac{3600}{C_{tm}} \times C_b \times BFF \times S_f \times E_k \\ &= 4 \times \frac{3600}{1536,05} \times 22 \text{ m} \times 91,1\% \times 0,83 \times 70\% \\ &= 108,97 \text{ Bcm/jam} \end{aligned}$$

LAMPIRAN M

MATCH FACTOR

Perhitungan faktor keserasian dapat diperoleh dengan menggunakan rumus sebagai berikut:

$$MF = \frac{Na \times Ctm \times n}{Nm \times Cta} \dots\dots\dots(3.17)$$

Keterangan:

- MF = Faktor keserasian
- Na = Jumlah alat angkut
- Nm = Jumlah alat gali-muat
- Cta = Waktu edar alat angkut
- Ctm = Waktu edar alat gali-muat
- N = Jumlah curah

Maka,

$$Na = 10 \text{ unit}$$

$$Nm = 1 \text{ unit}$$

$$Cta = 1.542,48 + 251,58 = 1.794,07 \text{ detik}$$

$$Ctm = 33,51 \text{ detik}$$

$$n = 4$$

$$MF = \frac{10 \times 33,51 \times 4}{1 \times 1.542,48}$$

$$Mf = 0,9$$

LAMPIRAN N

PERBAIKAN WAKTU EDAR ALAT ANGKUT

Perbaikan waktu edar alat angkut dilakukan dengan melakukan perbaikan pada geometri jalan, yaitu pada lebar jalan lurus, *grade* jalan, radius tikungan dan superelevasi. Setelah dilakukan perbaikan jalan angkut diharapkan dapat terjadi perubahan waktu *travel full* dan *travel empty*.

Kecepatan rata-rata *travel full* alat angkut dengan jarak ke disposal 4,1 km yaitu 20,84 km/jam dan kecepatan rata-rata *travel empty*. 24,54 km/jam. Dengan adanya perbaikan yang akan dilakukan kecepatan rata-rata *travel full* bisa 22 km/jam dan kecepatan rata-rata *travel empty*. 26 km/jam. Maka dapat dilakukan perhitungan sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 \text{Travel full} &= \frac{\text{Jarak}}{\text{Kecepatan}} \times 60 \text{ menit/jam} \\
 &= \frac{4,1 \text{ km}}{22 \text{ km/jam}} \times 60 \text{ menit/jam} \\
 &= 10,84 \text{ menit}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Travel empty} &= \frac{\text{Jarak}}{\text{Kecepatan}} \times 60 \text{ menit/jam} \\
 &= \frac{4,1 \text{ km}}{26 \text{ km/jam}} \times 60 \text{ menit/jam} \\
 &= 9,46 \text{ menit}
 \end{aligned}$$

Sehingga didapatkan perbandingan waktu edar sebelum perbaikan dengan setelah perbaikan sebagai berikut:

Tabel N.1

Waktu Edar Alat Angkut Sebelum dan Setelah Perbaikan

Parameter	Spotting (menit)	Loading (menit)	Travel Load (menit)	Spotting (menit)	Dumping (menit)	Travel Empty	Waktu Edar (menit)
Sebelum	0,43263	2,179739	11,8021889	0,518039	0,64623	10,0220639	26
Setelah	0,43263	2,179739	11,18	0,518039	0,64623	9,46	24,42

LAMPIRAN O
PERBAIKAN EFISIENSI KERJA ALAT ANGKUT DAN
ALAT GALI-MUAT

Perbaikan efisiensi kerja alat angkut dilakukan dengan cara membuat penjadwalan pengisian bahan bakar agar tidak terjadi 2 unit mengisi bahan bakar dalam 1 jam, sehingga mengurangi dari waktu hambatan kerja yaitu sebesar 3 menit. Maka perhitungan efisiensi bisa dilakukan sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \text{EKa} &= \frac{W_e}{W_t} \times 100\% \\ &= \frac{45}{60} \times 100\% \\ &= 75\% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{EKm} &= \frac{W_e}{W_t} \times 100\% \\ &= \frac{48}{60} \times 100\% \\ &= 80\% \end{aligned}$$

Sehingga didapatkan efisiensi kerja setelah perbaikan pada alat angkut yaitu sebesar 75% meningkat dari sebelumnya 70%, sedangkan pada alat angkut sebesar 80% meningkat dari sebelumnya 75%

LAMPIRAN Q
PRODUKTIVITAS ALAT ANGKUT SETELAH
DILAKUKAN PERBAIKAN

Produktivitas alat angkut Caterpillar 785C setelah perbaikan dapat dihitung dengan menggunakan persamaan berikut:

$$Q_{ta} = n \times \frac{3600}{C_{ta}} \times C_b \times BFF \times S_f \times E_k \dots\dots\dots(3.16)$$

Keterangan:

- Q_{ta} = Produktivitas alat angkut (BCM/jam)
- C_{ta} = Waktu edar alat angkut (detik)
- C_b = Kapasitas *bucket* (m³)
- BFF = *Bucket fill factor* (%)
- S_f = *Swell factor* (%)
- E_k = Efisiensi kerja (%)
- n = Jumlah curah

Dari pengambilan data di lapangan didapatkan produktivitas alat gali-muat Caterpillar 785C sebagai berikut:

- Waktu edar alat angkut (C_{ta}) = 1465,20 detik
- Kapasitas *bucket* (C_b) = 22 m³
- Bucket fill factor* (Bff) = 91,1%
- Swell factor* (S_f) = 0,83
- Efisiensi kerja (E_k) = 75%
- Jumlah curah (n) = 4

$$\begin{aligned}
 Q_{ta} &= n \times \frac{3600}{C_{tm}} \times C_b \times BFF \times S_f \times E_k \\
 &= 4 \times \frac{3600}{1465,20} \times 22 \text{ m} \times 91,1\% \times 0,83 \times 75\% \\
 &= 116,11 \text{ BCM/jam per unit}
 \end{aligned}$$

LAMPIRAN P
PRODUKTIVITAS ALAT GALI-MUAT SETELAH
DILAKUKAN PERBAIKAN

Produktivitas alat *Backhoe* Caterpillar EX-3600 setelah perbaikan dapat dihitung dengan menggunakan persamaan berikut:

$$Qm = \frac{3600}{Ctm} \times Cb \times BFF \times Sf \times Ek$$

Keterangan:

Qm = Produktivitas alat gali-muat (BCM/jam)

Ctm = Waktu edar alat gali-muat (detik)

Cb = Kapasitas *bucket* (m³)

BFF = *Bucket fill factor* (%)

Sf = *Swell factor* (%)

Ek = Efisiensi kerja (%)

Dari pengambilan data di lapangan didapatkan produktivitas alat *Backhoe* Hitachi EX-3600 sebagai berikut:

Waktu edar alat gali-muat (Ctm) = 33,51 detik

Kapasitas *bucket* (Cb) = 22 m³

Bucket fill factor (Bff) = 91,1%

Swell factor (Sf) = 0,83

Efisiensi kerja (Ek) = 80%%

$$\begin{aligned} Qm &= \frac{3600}{Ctm} \times Cb \times BFF \times Sf \times Ek \\ &= \frac{3600}{33,51} \times 22 \text{ m} \times 91,1\% \times 0,83 \times 80\% \\ &= 1.427,09 \text{ Bcm/jam} \end{aligned}$$