Jurnal Riset Teknologi Pertambangan (J-Ristam)
Volume 5 No. 1/2025 ISSN 2621-3869

PERENCANAAN KEBUTUHAN ALAT GALI MUAT DAN ALAT ANGKUT PENGUPASAN *OVERBURDEN* PIT BUANA PT TIMAH INVESTASI MINERAL

Nurwahyu Ramadani[a,*], Firdaus[a], Muhammad Ilham kadar[a] WD Rizky Awaliah Nafiu[a]
[a)]Program Studi Teknik Pertambangan, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam,
Universitas Halu Oleo
Kampus Bumi Hijau Tri Darma, Andonohu, Kendari, Indonesia

Intisari

Potensi bijih nikel yang ada di Provinsi Sulawesi Tenggara telah mendorong PT. Timah Investasi Mineral untuk melakukan kegiatan dalam sektor pertambangan dengan luas Izin Usaha Pertambangan (IUP) ± 297 Ha yang berada di Desa Rahampuu, Kecamatan Kabaena Barat, Kabupaten Bombana, Provinsi Sulawesi Tenggara. Perseroan Terbatas Timah Investasi Mineral saat ini berencana akan melakukan penambangan di Pit baru yaitu Pit Buana dengan luas sekitar 2 Ha dengan volume overburden sebanyak 74.000 ton. Untuk memaksimalkan kegiatan tersebut perlu dilakukannya perencanaan kebutuhan alat gali-muat dan alat angkut yang akan digunakan selama proses pengupasan overburden. Penelitian ini bertujuan untuk menentukan jumlah alat gali-muat dan alat angkut yang akan digunakan pada kegiatan pengupasan overburden. Berdasarkan hasil penelitian yang dilakukan diketahui jumlah alat mekanis yang digunakan bervariasi pada setiap tahapan kegiatan. Untuk aktivitas penggalian (digging) overburden, digunakan 1 unit Excavator Komatsu PC210 dengan estimasi waktu pengerjaan selama 33 hari. Sementara itu kegiatan pemuatan (loading) overburden menggunakan 1 unit Excavator Komatsu PC200 dengan waktu kerja selama 34 hari. Pada tahap pengangkutan (hauling) digunakan sebanyak 8unit Dump Truck Hino FM 260 JD ID untuk mendukung kelancaran proses pemindahan overburden.

Kata Kunci: Pengupasan Overburden, Alat Gali-Muat, Alat Angkut, Teori Antrian

Abstract

The nickel ore potential in Southeast Sulawesi Province has encouraged PT. Timah Investasi Mineral to engage in mining activities within a Mining Business Permit (IUP) ± 297 hectares, located in Rahampuu Village, West Kabaena District, Bombana Regency, Southeast Sulawesi Province. PT. Timah Investasi Mineral is currently planning to conduct mining operations in a new pit, namely Pit Buana, which covers an area of around 2 hectares with an estimated overburden volume of 74,000 tons. To optimize these operations, a detailed plan for the necessary excavation and hauling equipment is required for the overburden removal process. This study aims to determine the quantity and types of excavation and hauling equipment needed for overburden stripping activities. Based on the results of the study, the number of mechanical equipment used varies at each stage of the operation. For the overburden digging activity, one unit of Komatsu PC210 excavator is used, with an estimated work duration of 33 days. Meanwhile, the overburden loading activity is carried out using one unit of Komatsu PC200 excavator, with a working time of 34 days. For the hauling phase, eight units of Hino FM 260 JD ID dump trucks are employed to ensure the smooth transportation of overburden material.

Keywords: Overburden Removal, Excavation Equipment, Hauling Equipment, Queuing Theory.

1. PENDAHULUAN

Penambangan adalah sebagian atau seluruh tahapan kegiatan dalam rangka penelitian, pengelolaan dan pengusahaan mineral atau Batubara yang meliputi penyelidikan umum, eksploitasi, studi kelayakan, kontruksi, pertambangan, pengolahan dan pemurnian, pengangkutan dan penjualan serta pasca tambang.

Potensi bijih nikel yang ada di Provinsi Sulawesi Tenggara mendorong PT Timah Investasi Mineral melakukan kegiatan dalam sektor pertambangan dengan luas izin usaha pertambangan (IUP) ± 297 Ha yang berada di Desa Rahampuu, Kecamatan Kabaena Barat, Kabupaten Bombana.

Perseroan Terbatas Timah Investasi Mineral saat ini berencana melakukan penambangan di pit baru yaitu pit buana dengan luasan sekitar 2 Ha dengan total volume *overburden* 74.000 ton. Untuk memaksimalkan kegiatan tersebut maka diperlukan pengupasan *overburden*, sehingga perlu dilakukannya penelitian mengenai perencanaan kebutuhan alat gali-muat dan alat angkut untuk mengetahui berapa banyak alat yang akan digunakan selama proses pengupasan *overburden* guna memperlancar kegiatan penambangan.

2. METODE PENELITIAN

2.1. Waktu dan Lokasi Penelitian

Penelitian ini dilakukan selama ± 1 bulan. Lokasi penelitian berada di *Pit* Buana PT. Timah Investasi Mineral dengan luasan *Pit* sekitar 2 Ha dan jarak antara *Pit* menuju area *disposal* sekitar 660 m. Secara administratif lokasi penelitian terletak di Desa Rahampuu, Kecamatan Kabaena Barat, Kabupaten Bombana, Sulawesi Tenggara dengan luas IUP ± 297 Ha. Akses menuju lokasi penelitian dapat ditempuh dengan menggunakan kendaraan roda dua maupun roda empat dari Kota Kendari menuju Kabupaten Bombana (pelabuhan Kasipute) dengan waktu tempuh perjalanan ± 3 jam dan dilanjutkan dengan jalur laut Kasipute-Sikeli menggunakan *speedboat* selama ± 4 jam. Adapun peta lokasi penelitian dapat dilihat pada **Gambar 1.**



Gambar 1. Peta Lokasi Peneliti

2.2. Jenis Penelitian

Secara umum, penelitian yang berkaitan dengan perencanaan kebutuhan alat penambangan dilakukan dengan pendekatan kuantitatif. Pendekatan kuantitatif merupakan jenis penelitian yang menggunakan format terstruktur dan sistematis, dengan pengumpulan data yang diperoleh melalui observasi langsung di lapangan. Melalui pendekatan ini, diharapkan dapat diperoleh solusi yang tepat terhadap permasalahan yang diteliti berdasarkan data yang bersifat empiris dan terukur.

2.3. Instrumen Penelitian

Instrumen yang digunakan dalam penelitian ini berfungsi sebagai alat bantu bagi peneliti dalam proses pengumpulan dan analisis data. Instrumen yang akan digunakan penulis saat penelitian dapat dilihat pada **tabel 1.**

Table 1. Instrumen penelitian beserta kegunaannya

No	Nama Alat	Kegunaan
1	*Stopwatch*	Untuk menghitung waktu siklus alat gali-muat dan waktu *dumping* alat angkut.
2	Buku	untuk menulis data-data yang telah diperoleh.
3	Laptop	untuk mengolah data dan pembuatan laporan.
4	Kamera	untuk dokumentasi.
5	*Sofware ArcGis*	Untuk membuat peta lokasi penelitian
6	*Microsoft Office*	Untuk pengolahan data dalam menghitung kebutuhan alat gali-muat dan alat angkut

2.4. Prosedur Penelitian

Dalam pelaksanaan penelitian ini terdapat langkah-langkah atau tahapan penelitian; mulai dari perizinan, studi literatur, tahap pengamatan lapangan, tahap pengambilan dan pengumpulan data serta tahap pengolahan dan analisis data. Berikut adalah tahapan kegiatan penelitian yang dimaksud:

1. Studi literatur

Studi literatur dilakukan sebagai dasar dalam memahami konsep, teori, dan penelitian terdahulu yang berkaitan dengan topik penelitian. Kegiatan ini dilakukan dengan menelaah berbagai sumber tertulis, baik dari buku, jurnal ilmiah, laporan penelitian, maupun dokumen internal perusahaan yang berkaitan dengan perencanaan kebutuhan alat gali-muat dan alat angkut, khususnya dalam konteks kegiatan pengupasan overburden di industri pertambangan.

2. Pengamatan lapangan

Pada tahapan ini penelitian mengamati kondisi segmen jalanan dari *pit* ke *disposal* serta mengamati *pit* yang sementara beroperasi untuk nantinya dilakukan pengambilan data primer dan dokumentasi penelitian.

3. Pengambilan dan pengumpulan data

Pengambilan data yang pertama peneliti lakukan adalah pengambilan data sekunder yang diberikan langsung oleh perusahaan yang berupa lokasi *pit*, data *density* dan volume material *overburden*, kalender kerja perusahaan, spesifikasi alat mekanis, *bucket fill factor, swell factor*, dan segmen jalan angkut. Selanjutnya pengambilan data primer dilakukan di *pit* lokasi penelitian dan *pit* yang sedang beroperasi. Tahap pertama dimulai dengan observasi visual terhadap kondisi area penambangan, termasuk kondisi medan, jenis material yang akan digali, serta jarak dan kondisi jalan angkut menuju lokasi *disposal*. Selanjutnya dilakukan studi waktu (time study) dengan metode pencatatan menggunakan stopwatch untuk mengetahui siklus kerja alat, baik alat gali muat seperti *Excavator* maupun alat angkut seperti *Dump truck*. Data yang dicatat meliputi waktu edar alat gali-muat (*cycle time*), waktu manuver, dan waktu *dumping* alat angkut,. Selain itu, data teknis dari alat yang digunakan seperti kapasitas *bucket Excavator* dan kapasitas bak *Dump Truck* diambil langsung dari spesifikasi alat atau hasil pengukuran aktual di lapangan. Untuk mendukung keakuratan data, dilakukan pula wawancara dengan operator dan pengawas lapangan guna memperoleh informasi tentang kondisi operasional harian, gangguan yang sering terjadi, dan sistem kerja yang diterapkan.

4. Pengolahan data

Setelah seluruh data yang diperlukan berhasil dikumpulkan, tahapan berikutnya adalah melakukan pengolahan data menggunakan rumus-rumus yang relevan. Data yang telah diolah tersebut selanjutnya disajikan dalam bentuk gambar, tabel, grafik maupun dalam bentuk perhitungan pada penyelesaian suatu proses tertentu.

Adapun pengolahan data yang akan dilakukan adalah sebagai berikut:

1. Memilih *type* alat gali-muat *Excavator* Komatsu PC200 dan Komatsu PC210 serta alat angkut Hino 500 yang akan digunakan
2. Menghitung waktu edar (*cycle time*) alat gali-muat
3. Menghitung produktivitas alat gali-muat
4. Mengukur jarak setiap segmen jalan angkut dan menghitung *grade*
5. Menghitung *grade resistance* berdasarkan *grade* pada setiap segment jalan angkut
6. Menentukan *rolling resistance* untuk setiap segmen jalan angkut
7. Menghitung *rimpull* pada setiap segmen jalan
8. Menghitung waktu antrian alat angkut dengan
9. Menghitung waktu edar (*cycle time)* alat angkut berdasarkan waktu antrian
10. Menghitung produktivitas alat angkut

5. Analisis data

Dari hasil pengolahan data, maka analisa data yang dilakukan adalah sebagai berikut:

1. Menganalisis waktu edar (*cycle time*) alat gali-muat untuk mendapatkan produktivitas alat gali-muat
2. Melakukan analisis *grade* (kemiringan jalan angkut) pada setiap segmen jalan
3. Menganalisis produktivitas alat gali-muat
4. Menganalisis *grade resistance* pada setiap segment jalan angkut
5. Menganalisis *rolling resistance* untuk setiap segmen jalan angkut
6. Menganalisis *rimpull* alat angkut bermuatan dan alat angkut tanpa muatan pada setiap segmen jalan
7. Analisis waktu antrian alat angkut
   Waktu antrian alat angkut ditentukan dengan menggunakan teori antrian. langkah awal yang dilakukan adalah menentukan tingkat pelayanan, dilanjutkan dengan menghitung probabilitas keadaan antrian, lalu menghitung rata-rata jumlah alat angkut yang menunggu dalam antrian tahap 1 dan tahap 3
8. Menganalisis waktu tunggu dalam antrian untuk tahap 1 dan tahap 3.
9. Menganalisis jumlah alat gali-muat dan alat angkut yang dibutuhkan dalam kegiatan pengupasan *overburden*
10. Menganalisis waktu edar (*cycle time)* alat angkut berdasarkan waktu antrian
11. Menganalisis produktivitas alat angkut.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Produktivitas Alat Gali Muat

Kegiatan pengupasan *overburden* pada pit Buana PT. Timah Investasi Mineral menggunakan *Excavator* Komatsu PC200 yang digunakan untuk penggalian serta *Excavator* Komatsu PC210 digunakan untuk pemuatan *overburden.*

1. Menggali (*Digging*)

Pada proses penggalian (*digging overburden*) alat yang digunakan adalah *Excavator* PC210. Penentuan produktivitas alat gali-muat dapat dihitung dengan menggunakan persamaan berikut[1]:

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

Dimana nilai q (produktivitas persiklus) dapat dihitung dengan menggunakan persamaan:

$q = q_1 \times K$
$q = 1{,}2\ m^3 \times 110\%$
$q = 1{,}32\ m^3$
Sehingga,
$$Q = 1{,}32 \times \frac{3600}{18} \times 83\%$$
$Q = 222{,}42\ m^3/jam$

2. Memuat (*Loading*)

Pada proses pemuatan yang digunakan adalah *Excavator* PC200. Penentuan produktivitas alat gali-muat dapat dihitung dengan menggunakan persamaa berikut[1]:

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

Dimana nilai q (produktivitas persiklus) dapat dihitung dengan menggunakan persamaan berikut:

$q = q_1 \times K$
$q = 1\ m^3 \times 110\%$
$q = 1{,}1\ m^3$
Sehingga,
$$Q = 1{,}1 \times \frac{3600}{15} \times 84\%$$
$Q = 212{,}97\ m^3/jam$

3.2. Pengangkutan Overburden

Alat angkut yang digunakan dalam proses pemindahan material *overburden* dari area penambangan (*pit*) menuju lokasi pembuangan (*disposal*) adalah *Dump Truck* Hino 500.

3.2.1. *Rimpull*

Rimpull merupakan gaya tarik maksimum yang dapat dihasilkan oleh roda penggerak alat angkut pada permukaan jalan tertentu sebelum terjadi kehilangan traksi. Untuk menentukan *rimpull* dihitung dengan menggunakan persamaan berikut[2]:

$$Rimpull = \frac{0{,}90 \times in\ lbs\ eng.Torque \times total\ gear\ ratio \times ME}{Rolling\ radius}$$

Sehingga diperoleh

$$Rimpull_{gear\ 1} = \frac{0{,}9 \times 6.459 \times (9{,}647 \times 6{,}428) \times 0{,}83}{21}$$
$Rimpull_{gear\ 1} = 14.246{,}52$ lb
Dimana,
$$Torque = \frac{HP \times 5252}{RPM} \times 11{,}99$$
$$Torque = \frac{256{,}41 \times 5252}{2.500} \times 11{,}99$$
$Torque = 554$ atau $Torque = 6.459\ in.lb$

Berdasarkan uraian diatas maka, *rimpull gear* 1 adalah 15.001,18 *lb*, rumus yang sama digunakan untuk menghitung *rimpull gear* 2 sampai *gear* seterusnya. Hasil perhitungan *rimpull* masing-masing dapat dilihat pada tabel berikut:

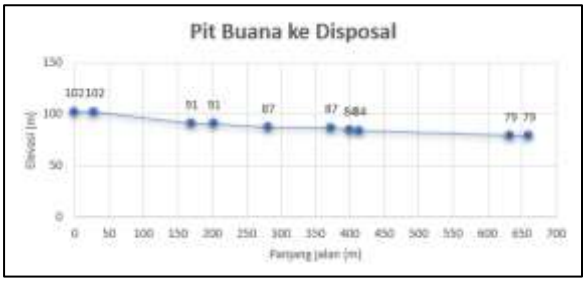
Table 2. *Rimpull*

Gear	HP	*Total Gear*	ME	RPM	*Torque*	*RR*	*Rimpull*
1	256,4	62,1	0,83	2500	6.459	21	14246,52
2	256,4	45	0,83	2500	6.459	21	10327,14
3	256,4	32,3	0,83	2500	6.459	21	7414,92
4	256,4	23,4	0,83	2500	6.459	21	5369,58
5	256,4	17,1	0,83	2500	6.459	21	3917,90
6	256,4	12,4	0,83	2500	6.459	21	2839,85
7	256,4	8,9	0,83	2500	6.459	21	2037,96
8	256,4	6,4	0,83	2500	6.459	21	1476,78

Sumber: (Pengolahan data)

3.2.2. Waktu Pergi Bermuatan

Jalan angkut yang direncanakan pada *pit* Buana PT. TIM dari *pit* Buana ke *disposal* memiliki jarak sejauh ± 660 meter, dimana jalan tersebut dibagi menjadi 9 segmen. Adapun gambar profil jalan angkut dari *pit* ke *disposal* dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Profil Jalan*Pit* Ke *Disposal*

Masing-masing segmen jalan angkut memiliki kemiringan yang dapat pada tabel berikut

Table 3. Segmen Jalan dan Kemiringan

PIT* KE *DISPOSAL							
Segmen	**Jarak (m)**	**Ketinggian**		**Δh**	**Δx**	***Grade* (%)**	**Crr (%)**
		Awal	**Akhir**				
A-B	29,3	102	102	0,0	29,30	0,00	15
B-C	140,9	102	91	-11	140,47	-7,83	10
C-D	32,5	91	91	-0,5	32,50	-1,54	15
D-E	78,6	91	87	-3,5	78,52	-4,46	10

Table 3. Segmen Jalan dan Kemiringan

PIT KE *DISPOSAL*							
Segmen	**Jarak (m)**	**Ketinggian**		**Δh**	**Δx**	***Grade* (%)**	**Crr (%)**
		Awal	**Akhir**				
E-F	91,7	87	87	-0,4	91,70	-0,44	15
F-G	27,6	87	84	-2,6	27,48	-9,46	10
G-H	14	84	84	-0,2	14,00	-1,43	15
H-I	219	84	79	-4,8	218,95	-2,19	10
I-J	27	79	79	0,0	27,00	0,00	15

(Sumber: Pengolahan data)

1. *Rolling Resistance* (RR), *Grade Resistance* (GR) dan *Total Resistance* (TR)

Untuk segmen jalan pada kondisi menurun, nilai *rolling resistance* (RR) dikurangi dengan nilai *grade resistance* (GR)**.** Sebaliknya, untuk segmen jalan dengan kondisi menanjak nilai *rolling resistance* (RR) dijumlahkan dengan nilai *grade resistance* (GR). Untuk *total resistance* (TR) dalam mengatasi hambatan jalan pada tiap segmen jalan menggunakan persamaan berikut[3]**:**

$$TR = RR \pm GR$$

Dimana

$$GR\,(\text{lb/ton}) = Grade\,(\%) \times 2\,0\ \text{lb/ton}$$ [4]

$$Grade\,(\%) = \frac{\Delta h}{\Delta x}\ x\ 100\%$$ [5]

Table *4.* *GR, RR, dan TR*

Segmen	**RR (*lb*/ton)**	**GR (*lb*/ton)**	**TR (*lb*/ton)**
A-B	0,00	300	300,00
B-C	-156,62	200	43,38
C-D	-30,77	300	269,23
D-E	-89,15	200	110,85
E-F	-8,72	300	291,28
F-G	-189,25	200	10,75
G-H	-28,57	300	271,43
H-I	-43,85	200	156,15
I-J	0,00	300	300,00

Sumber: (Pengolahan data)

2. *Rimpull* yang Dibutuhkan

Hasil perhitungan *rimpull* dan kecepatan alat angkut dapat dilihat pada tabel berikut

Table 5. Hasil Perhitungan *Rimpull*

PIT KE *DISPOSAL*				
Segmen	***Rimpull* Dibutuhkan**	***Rimpull* Tersedia**	***Gear***	**Kecepatan (km/h)**
A-B	7800,00	10327,14	2	4,80
B-C	1127,96	1476,78	8	33,56
C-D	6999,91	7414,92	2	4,80

Table 5. Hasil Perhitungan *Rimpull*

PIT KE *DISPOSAL*				
Segmen	***Rimpull* Dibutuhkan**	***Rimpull* Tersedia**	***Gear***	**Kecepatan (km/h)**
D-E	2882,18	3917,90	6	17,45
E-F	7573,17	10327,14	2	4,80
F-G	279,57	1476,78	8	33,56
G-H	7057,07	7414,92	3	6,68
H-I	4060,00	5369,58	4	9,23
I-J	7800,00	10327,14	2	4,80

Sumber: (Pengolahan data)

3.2.3. Waktu Kembali Kosong

Dalam kondisi tanpa bermuatan, jalan yang ditempuh oleh alat angkut tetap sama dengan kondisi saat bermuatan, namun dengan kondisi kemiringan jalan yang berbeda. Masing-masing segmen jalan memiliki kemiringan yang dapat dilihat pada tabel berikut

Table 6. Segmen Jalan dan Kemiringan

DISPOSAL KE *PIT*							
Segmen	**Jarak (m)**	**Ketinggian**		**Δh**	**Δx**	***Grade* (%)**	**Crr (%)**
		Awal	**Akhir**				
J-I	27	79	79	0	27	0,00	15
I-H	219	79	84	4,8	219	2,19	10
H-G	14	84	84	0,2	14	1,43	15
G-F	27,6	84	86,6	2,6	27	9,46	10
F-E	91,7	86,6	87	0,4	92	0,44	15
E-D	78,6	87	91	3,5	79	4,46	10
D-C	32,5	91	91	0,5	32	1,54	15
C-B	140,9	91	102	11	140	7,83	10
B-A	29,3	102	102	0	29	0,00	15

Sumber: (Pengolahan data)

Adapun gambar jalan *hauling* alat angkut dari *disposal* ke *pit* dapat dilihat pada **gambar 2.**



Gambar 1. Profil Jalan *Disposal* Ke *Pit*

1. *Rolling Resistance* (RR), *Grade Resistance* (GR) dan *Total Resistance* (TR)

Untuk segmen jalan pada kondisi menurun, nilai *rolling resistance* (RR) dikurangi dengan nilai

grade resistance (GR)**.** Sebaliknya, untuk segmen jalan dengan kondisi menanjak nilai *rolling resistance* (RR) dijumlahkan dengan nilai *grade resistance* (GR). Untuk *total resistance* (TR) dalam mengatasi hambatan jalan pada tiap segmen jalan menggunakan persamaan berikut[3]:

$$TR = RR \pm GR$$

Dimana

$$GR\,(\text{lb/ton}) = Grade\,(\%) \times 2\,0\ \text{lb/ton}$$ [4]

$$Grade\,(\%) = \frac{\Delta h}{\Delta x}\ x\ 100\%$$ [5]

Table 7. GR, RR, dan TR

Segmen	RR (*lb*/ton)	GR (*lb*/ton)	TR (*lb*/ton)
J-I	0,00	300	300,00
I-H	43,85	200	243,85
H-G	28,57	300	328,57
G-F	189,25	200	389,25
F-E	8,72	300	308,72
E-D	89,15	200	289,15
D-C	30,77	300	330,77
C-B	156,62	200	356,62
B-A	0,00	300	300,00

Sumber: (Pengolahan data)

Alat angkut *Dump Truck* Hino 500 dalam kondisi tanpa muatan memiliki bobot sebesar 7,5 ton. Pada segmen jalan pertama yaitu dari J ke I memiliki nilai *rolling resistance* sebesar 300 lb/ton, sedangkan *grade resistance* (GR) pada segmen pertama memilik nilai sebesar 0 lb/ton dimana jarak segmen sepanjang 27meter dengan kondisi jalan yang datar. Oleh karena itu diperoleh nilai *total resistance* (TR) sebesar 300 lb/ton.

2. *Rimpull* yang Dibutuhkan

Hasil perhitungan *rimpull* dan kecepatan alat angkut dapat dilihat pada tabel berikut

Table 8. Hasil Perhitungan Rimpull

	DISPOSAL KE *PIT*			
Segmen	***Rimpull* Dibutuhkan**	***Rimpull* Tersedia**	***Gear***	**Kecepatan**
J-I	2250,00	2839,85	6	17,45
I-H	1828,85	2037,96	7	24,32
H-G	2464,31	2839,85	6	17,45
G-F	2919,36	3917,90	5	12,65
F-E	2315,43	2839,85	6	17,45
E-D	2168,60	2839,85	6	17,45
D-C	2480,80	2839,85	6	17,45
C-B	2674,63	2839,85	6	17,45
B-A	2250,00	2839,85	6	17,45

Sumber: (Pengolahan data)

3.3. Analisis Teori Antrian

3.3.1. Probabilitas Keadaan Antrian

Probabilitas keadaan antrian merupakan peluang terdapat n dalam suatu sistem antrian yang dinyatakan dalam p1 yang terbagi dalam 4 tahapan. Untuk menetukan probabilitas keadaan antrian terlebih dahulu diketahui koefisien dari seluruh tahapan. Untuk menentukan probabilitas keadaan antrian menggunakan persamaan berikut[6]:

$$P\,(n_1,n_2,n_3,n_4) = \frac{\mu_1^{(N-n1)}}{n_2!\mu_2^{n2}\mu_3^{n3}n_4!\mu_4^{n4}} P\,(n_1,n_2,n_3,n_4)$$

Dimana:

μ = Tingkat pelayanan rata-rata dalam satu sistem (unit/menit)

N = Jumlah alat angkut (unit)

n =Jumlah alat angkut dalam sistem (unit/menit)

Rumus yang digunakan untuk menentukan kemungkinan keadaan antrian yaitu sebagai berikut[7]:

$$\left|\frac{N+M-1}{N}\right| = \frac{(K+M-1)!}{(M-1)!\times K!}$$

Dimana:

M = Tahap antrian

N = Jumlah alat angkut

Maka

$$= \frac{(8+4-1)!}{(4-1)!\,8!}$$

$$= \frac{11!}{3!\,8!}$$

$$= \frac{(11\times10\times9\times8\times7\times6\times5\times4\times3\times2\times1)}{(3\times2\times1)(8\times7\times6\times5\times4\times3\times2\times1)}$$

$$= 165 \text{ Keadaan}$$

Pada sistem antrian di mana 1unit alat gali-muat melayani 8unit alat angkut, terdapat sebanyak 165 kemungkinan keadaan yang dapat terbentuk. Hal ini menunjukkan adanya 165 variasi kondisi sistem yang menggambarkan posisi alat angkut, baik yang sedang dilayani maupun yang sedang menunggu giliran.

3.3.2. Tingkat Penggunaan *Dump Truck* Dan Jumlah *Dump Truck* Yang Terlayani Tahap 1 Dan Tahap 3

Tingkat pengunaan pada tahap 1 diperoleh pada kondisi n1>1 yaitu ketika terdapat lebih dari satu unit alat angkut yang memasuki tahap 1 yang dihitung dengan menggunakan persamaan berikut[7]:

$$\eta_1 = \sum P(n_1 \geq 1, n_2, n_3, n_4)$$

Untuk menentukan Jumlah alat angkut yang dapat terlayani pada tahap 1 :

$$\varphi_1 = \eta_1 \times \mu_1$$

Tingkat pengunaan pada tahap 3 diperoleh pada kondisi n3>1 aitu ketika terdapat lebih dari satu unit alat angkut yang memasuki tahap 3 yang dihitung dengan menggunakan persamaan:

$$\eta_3 = \sum P(n_3 \geq 1, n_2, n_3, n_4)$$

Untuk menentukan Jumlah alat angkut yang dapat terlayani pada tahap 3:

$$\varphi_3 = \eta_3 \times \mu_3$$

Hasil perhitungan tingkat penggunaan *Dump Truck* dan jumlah *Dump Truck* yang terlayani pada tahap 1 dan tahap 3 adalah sebagai berikut:

Table 9. Hasil Perhitungan n1 dan θ1

Tahap 1		**Tahap 3**	
η1 (%)	θ1 (unit/menit)	η3 (%)	θ3 (unit/menit)
99,8	0,293	26,4	0,293

Sumber : (Pengolahan Data)

3.3.3. Jumlah Alat Angkut yang Antri Dan Waktu Tunggu Tahap 1 Dan Tahap 3

Alat angkut berada dalam kondisi menunggu untuk dimuati oleh alat gali-muat ketika memenuhi ketentuan n1>2 dan n3>2. Oleh karena itu, rata-rata jumlah alat angkut yang menunggu untuk dimuati dapat dihitung menggunakan persamaan berikut[7]:

$L_{q1} = \sum (n_1\text{-}1)\ P\ ((n_{1\geq 2}), n_2, n_3, n_4)$

$$L_{q3} = \sum (n_3\text{-}1) P(n_1, n_2, (n_3 \geq 2), n_4)$$

Perhitungan rata-rata waktu tunggu alat angkut dalam antrian pada alat gali muat ditentukan dengan persamaan berikut:

$$W_q = \frac{L_q}{\varphi}$$

Jumlah unit Dump Truck yang berada dalam antrian serta waktu tunggu yang terjadi pada tahap 1 dan tahap 3 disajikan pada tabel berikut:

Table 10. Hasil Perhitungan Lq1 dan Wq1

Tahap 1		**Tahap 3**	
Lq1 (unit)	Wq1 (menit)	Lq3 (unit)	Wq3 (menit)
4,74	16,18	0,093	0,318

Sumber: (Pengolahan Data)

3.4. Analisis *Cycle Time Dump Truck*

Berdasarkan penerapan metode antrian maka total waktu edar *(cycle time)* alat angkut ditentukan menggunakan persamaan[7]:

$$\text{CT total} = \frac{1}{\mu_1} + \frac{1}{\mu_2} + \frac{1}{\mu_3} + \frac{1}{\mu_4} + W_{q1} + W_{q3}$$

Hasil perhitungan *cycle time Dump Truck* dapat dilihat pada tabel berikut

Table 11. Cycle Time Dump Truck

Tingkat Pelayanan		
m_1	0,29	3,4
m_2	0,23	4,48
m_3	1,11	0,90
m_4	0,48	2,09
Waktu Tunggu		
Tahap 1	16,18	
Tahap 3	0,318	
Total CT	**27,28**	

Sumber: (Pengolahan Data)

3.5. Produktivitas Alat Angkut

Produksi alat angkut pada kegiatan pengupasan *overburden* dapat dihitung menggunakan persamaan sebagai berikut[1]:

$$\left(P = C \times \frac{60}{Cmt} \times E_t \times M\right)$$

$$\left(\text{P} = 20{,}35 \times \frac{60}{27{,}42} \times 0{,}83 \times 8\right)$$

$(\text{P} = 269\ \text{ton/jam})$

Nilai C dapat dihitung dengan menggunakan persamaan sebagai berikut:

$(\text{C} = n \times q1 \times K)$

$(\text{C} = 13 \times 1{,}4 \times 1{,}1)$

$(\text{C} = 20{,}35\ \text{m}^3)$

3.6. Penentuan Jumlah Alat Mekanis

3.6.1. Penetuan Jumlah Alat Gali-Muat dan Angkut

Penentuan jumlah alat gali muat dan angkut ditentukan berdasarkan target produksi dan kapasitas produksi alat. Adapun alat gali muat yang digunakan pada kegiatan pengupasan *overburden* yaitu *Excavator* Komatsu PC210 dan Komatsu PC200 serta untuk pengangkutan menggunakan alat angkut *Dump Truck* Hino 500 FM 260 JD.

1. Jumlah Alat Gali Pada Pengupasan *Overburden*

Penggalian *overburden* menggunakan alat *Excavator* Komatsu PC210 dengan kapasitas produksi dapat dilihat pada tabel berikut

Table 12. Kapasitas Produksi Alat Gali

Diging Overburden			
Volume *Overburden* (ton)	**Kapasitas Produksi (ton/Bulan)**	**Kapasitas Produksi (ton/hari)**	**Jumlah Alat**
74.000	57.794,87	2.222,88	1

Sumber: (Pengolahan Data)

Jumlah volume *overburden* pada *pit* buana yaitu 74.000 ton, proses penggalian *overburden* dilakukan dengan menggunaka 1unit *Excavator* komatsu PC210. Waktu yang diperlukan untuk menyelesaikan penggalian ini dihitung dengan membagi total volume *overburden* dengan kapasitas produksi perhari yaitu 74.000ton dibagi 2.222,88 ton/hari, sehingga diperoleh waktu pengerjaan selama 33 hari.

2. Jumlah Alat Muat Pada *Loading Overburden*

Memuat *overburden* menggunakan *Excavator* Komatsu PC200 dengan kapasitas produksi dapat dilihat pada tabel berikut

Table 13. Kapasitas Produksi Alat Muat

Loading Overburden			
Volume *Overburden* (ton)	**Kapasitas Produksi (ton/Bulan)**	**Kapasitas Produksi (ton/hari)**	**Jumlah Alat**
32.000	55.339,94	2.128,46	1

Sumber: (Pengolahan Data)

Jumlah volume *overburden* pada *pit* buana yaitu 74.000 ton, kegiatan pemuatan *overburden* dilakukan menggunakan satu unit *Excavator* Komatsu PC200. Untuk mengetahui lama waktu dapat dihitung dengan membagi volume *overburden* dengan kapasitas produksi yaitu 74.000ton dibagi 2.128,46 ton/hari, sehingga diperoleh estimasi waktu selama 34 hari.

3.6.2. Jumlah Alat Angkut Pada Produksi *Overburden*

Pengangkutan *overburde*n menggunakan alat angkut Hino 500 dengan kapasitas produksi dapat dilihat pada tabel berikut

Table 14. Kapasitas Produksi Alat Angkut

Hauling Overburden			
Volume *Overburden* (ton)	**Kapasitas Produksi (ton/bulan)**	**Kapasitas Produksi (ton/hari)**	**Jumlah Alat**
74.000	56.207	2.161,8	8

Sumber: (Pengolahan Data)

Jumlah volume *overburden* pada *pit* buana yaitu 74.000 ton, pada kegiatan *Hauling overburden* menggunakan alat angkut Hino 500 FM JD. Berdasarkan hasil analisis teori antrian, dibutuhkan sebanyak 8unit *dump truck* untuk dapat menunjang kapasitas produksi dari alat muat secara optimal.

4. KESIMPULAN

Kesimpulan dari penelitian ini yaitu jumlah alat mekanis yang digunakan bervariasi pada setiap tahapan kegiatan. Untuk aktivitas penggalian *(digging) overburden*, digunakan 1 unit *Excavator* Komatsu PC210 dengan estimasi waktu pengerjaan selama 33 hari. Sementara itu kegiatan pemuatan (*loading*) *overburden*, untuk pemuatan (*loading) overburden* menggunakan 1 unit *Excavator* Komatsu PC200 dengan waktu kerja selama 34 hari. Pada tahap pengangkutan (hauling) digunakan sebanyak 8unit *Dump Truck* Hino FM 260 JD ID untuk mendukung kelancaran proses pemindahan *overburden*.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terimakasih banyak kepada pihak PT. Timah Investasi Mineral yang telah memberikan kesempatan kepada penulis untuk melakukan penelitian serta banyak membantu selama proses penelitian berlangsung.

DAFTAR PUSTAKA

[1] *Komatsu*. 2019.

[2] Y. Indonesianto, *Pemindahan Tanah Mekanis*. Yogyakarta: CV Awan Poetih, 2013.

[3] Rostiyanti, *Alat Berat Untuk Proyek Konstruksi*. 2008.

[4] "Caterpillar Performance Handbook Edition 31 ®," 1979.

[5] W. , S. Bargawa, *Perencanaan Tambang Edisi Kedelapan*. Yogyakarta: Kilau Book, 2018.

[6] A. Putri, D. Hidayati, I. Satria Permana, and M. Oktavia, "OPTIMASI ALAT GALI MUAT DAN ALAT ANGKUT MENGGUNAKAN METODE TEORI ANTRIAN DAN KAPASITAS PRODUKSI PADA KEGIATAN COAL GETTING DI PT NATURAL ARTHA RESOURCE." [Online]. Available: http://ojs.umb-bungo.ac.id/

[7] S. G. Erecelebi and A. Bascetin, "Optimization of shovel-truck system for surface mining Figure 1-Phases of shovel-truck system," vol. 109, 2009.