



PERENCANAAN KEBUTUHAN ALAT GALI MUAT DAN ANGKUT PADA KEGIATAN PENGUPASAN OVERBURDEN PADA PIT C BLOK ITB PT BOSOWA MINING

Fahrudin La Daio¹, Erwin Anshari¹, Irfan Saputra¹, Ika Sartika Ambarsari¹

¹Jurusan Teknik Pertambangan Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam
Universitas Halu Oleo
Kampus Bumi Hijau Tri Dharma Anduonohu, Kendari, Indonesia 93231
fahrudinladaio@gmail.com

Intisari

Perseroan terbatas (PT) Bosowa Mining merupakan salah satu perusahaan swasta nasional yang bergerak dalam bidang industri pertambangan komoditas nikel dengan luas wilayah izin usaha pertambangan (IUP) 1.500 Ha. Saat ini perusahaan tersebut berencana membuka lahan penambangan baru pada *pit C* Blok ITB untuk mempertahankan produksi dan dijadwalkan ketika beberapa blok lainnya telah mencapai kategori *mineout*. Peralatan produksi pada operasi penambangan merupakan sarana produksi yang penting untuk mencapai sasaran produksi akhir yang telah ditentukan oleh perusahaan. Perencanaan kebutuhan alat gali muat dan angkut pada kegiatan pengupasan *overburden* menggunakan metode teori antrian. Jumlah alat gali muat dan alat angkut dihitung berdasarkan produktivitas alat dan target produksi bulanan. Pada kegiatan pengupasan *overburden* menggunakan alat gali muat *excavator* Sany 365 dan pengangkutan material *overburden* menggunakan Howo 371 HP. Jumlah alat gali muat dan angkut yang dibutuhkan dalam kegiatan pengupasan *overburden* yaitu *digging overburden* menggunakan 1 unit *excavator* Sany 365, *loading overburden* menggunakan 1 unit *excavator* Sany 365 dan *hauling overburden* menggunakan 3 unit alat angkut Howo 371 HP.

Kata Kunci : Nikel, *Overburden*, Alat Gali Muat, Angkut

ABSTRACT

Bosowa Mining limited liability company (LLC) is a national private company engaged in the nickel commodity mining industry with a mining business permit (IUP) area of 1,500 Ha. Currently the company plans to open a new mining area in pit C of Block ITB to maintain production and is scheduled when several other blocks have reached the mineout category. Production equipment in mining operations is an important means of production to achieve the final production targets determined by the company. Planning the need for digging and transport equipment for overburden stripping activities using the queuing theory method. The number of digging and lifting equipment is calculated based on the productivity of the equipment and monthly production targets. In overburden stripping activities using a Sany 365 excavator and transporting overburden material using a Howo 371 HP. The number of digging, loading and transport equipment required for overburden removal activities is digging overburden using 1 Sany 365 excavator, overburden loading using 1 Sany 365 excavator and overburden hauling using 3 Howo 371 HP transport equipment.

Keywords : *Nickel, Overburden, loading and transporting digging equipment*

1. PENDAHULUAN

Sistem penambangan merupakan kegiatan yang dilakukan baik secara sederhana (manual) maupun mekanis yang meliputi penggalian, pemberaian, pemuatan dan pengangkutan bahan galian. Beberapa tahapan kegiatan penambangan secara garis besar adalah pembabatan (*clearing*), pengupasan tanah penutup (*stripping*), penggalian bahan galian (*mining*), pemuatan

(*loading*), pengangkutan(*hauling*)dan penumpahan (*waste dump*). PT. Bosowa Mining merupakan perusahaan yang bergerak di bidang pertambangan bijih nikel dengan wilayah Izin Usaha Pertambangan (IUP) seluas 1500 ha. Perencana pembukaan lokasi penambangan baru di *Pit C* Blok ITB untuk mempertahankan produksi dan dijadwalkan ketika beberapa blok lainnya telah mencapai kategori *mineout*. Lokasi



daerah penambangan terletak di Kecamatan Wiwirano, Kabupaten Konawe Utara, Provinsi Sulawesi Tenggara. Dalam kegiatan penambangannya menerapkan sistem tambang terbuka (*surface mining*) dengan metode *open pit* dan *open cast*.

Peralatan produksi pada operasi penambangan merupakan sarana produksi yang penting untuk mencapai sasaran produksi akhir yang telah ditentukan oleh perusahaan. Pentingnya memperkirakan efektivitas alat gali muat dan angkut ini karena ada kaitannya dengan target produksi yang harus dicapai oleh perusahaan. Hubungan antara sasaran produksi dengan jumlah alat akan sangat menentukan tercapainya target produksi. Sehingga dilakukanlah penelitian mengenai "Perencanaan Kebutuhan Alat Gali Muat Dan Angkut Pada Kegiatan Pegupasan *Overburden* Pada *Pit C* Blok ITB PT. Bosowa Mining Kecamatan Wiwirano, Kabupaten Konawe Utara Provinsi Sulawesi Tenggara".

2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Pengertian Alat Berat

Alat berat merupakan faktor penting di dalam proyek-proyek konstruksi dengan skala yang besar. Tujuan penggunaan alat berat tersebut untuk memudahkan manusia dalam mengerjakan pekerjaannya sehingga hasil yang diharapkan dapat tercapai dengan lebih mudah pada waktu yang relatif lebih singkat. Pemilihan alat berat yang akan dipakai merupakan salah satu faktor penting dalam keberhasilan suatu proyek. Alat berat yang dipilih haruslah tepat sehingga proyek/pekerjaan berjalan lancar. Kesalahan dalam pemilihan alat berat dapat mengakibatkan proyek/pekerjaan tidak lancar [6].

2.2 Jenis-Jenis Alat Berat

2.2.1 Alat Gali Muat

Yang termaksud dalam alat gali muat adalah *backhoe*, *power shovel*, atau yang dikenal sebagai *front shovel*, *dragline*, dan *clamshell*. Secara umum alat terdiri atas struktur bawah, struktur atas, sistem dan *bucket*. Struktur bawah alat-alat gali muat mempunyai *as (slewing ring)* diantara alat penggerak dan badan mesin sehingga alat berat tersebut dapat melakukan gerakan memutar walaupun tidak ada gerakan pada alat penggerak atau mobilisasi. Kemudian sistem pada alat gali muat ada dua macam yaitu pada sistem hidrolis dan pada sistem kabel. *Backhoe* dan

power shovel disebut alat penggali dengan sistem hidrolis karena *bucket* digerakan secara hidrolis. Sistem hidrolis ini selain menggerakkan *bucket* juga menggerakkan *boom* dan *arm*. Sedangkan *clamshell* dan *dragline* merupakan alat-alat dengan sistem kabel. Sistem kabel ini dipasang pada *boom* yang berupa rangka baja [12].

2.2.2 Alat Angkut

Alat angkut ada bermacam-macam antara lain *truck*, *belt conveyor*, *power scrapper* dan lain-lain. Pada umumnya alat angkut yang sering digunakan di tambang adalah alat angkut dengan jenis *dump truck*. *Truck* merupakan alat yang khusus digunakan sebagai alat angkut karena kemampuannya yang dapat bergerak cepat, kapasitas besar dan biaya operasinya yang relatif murah. Pada umumnya untuk pekerjaan tambang digunakan *truck* yang dapat membuang muatan dari bak secara otomatis. *Truck* semacam ini disebut dengan *dump truck* atau *tipping truck*. Penumpahan muatan (*dumping*) dilakukan dengan cara hidrolis yang menyebabkan bak terangkat pada satu sisi, sedang sisi lain yang berhadapan berputar sebagai engsel [9].

2.3 Faktor Faktor Yang Mempengaruhi Gaya Gerak Kendaraan

2.3.1 Tahanan gelinding (*Rolling Resistance*)

Tahanan gelinding merupakan suatu gaya yang terjadi akibat gesekan roda alat yang sedang bergerak dengan permukaan tanah. Besar tahanan ini akan berbeda setiap jenis dan kondisi permukaan tanah atau jalan dan juga sangat bergantung dari tipe roda alat berat. Semakin kasar permukaan maka tahanan gelindingnya akan semakin besar. Diperkirakan diperlukan tahanan gelinding alat sebesar 1,5 sampai 2,0 % berat alat agar alat tersebut dapat bergerak. Tabel berikut berisi besarnya tahanan gelinding berdasarkan jenis permukaan tanah dan tipe roda [12].

Tahanan gelinding (*Rolling Resistance*) dapat dihitung menggunakan persamaan sebagai berikut [13].

$$RR = W \times Crr$$

Keterangan :

RR = Tahanan gelinding

W = Berat kendaraan (kg)

Crr = koefisien tanah gelinding

Table 1. Koefisien Tahanan Gelinding(Crr)

No.	Kondisi Permukaan jalan	Nilai Koefisien (%)
1.	Jalan terpelihara, ban tidak terbenam	2
2.	Jalan terpelihara, ban agak terbenam	3,50
3.	Ban terbenam, sedikit basah	5
4.	Keadaan jalan jelek	8
5.	Jalan berpasir gembur, jalan berkrikil	10
6.	Keadaan jalan sangat jelek	15-20

2.3.2 Tahanan Kelandaian (Grade Resistance)

Pada saat alat berat bergerak di permukaan yang menanjak maka selain tahanan gelinding ada gaya yang menahan alat tersebut, gaya tersebut dinamakan tahanan kelandaian. Yang dimaksud dengan kenaikan permukaan sebanyak 1% adalah kenaikan sebanyak 1 meter untuk setiap 100 meter jarak horizontal. Untuk kenaikan 1 % diperlukan tahanan sebesar 10 kg untuk setiap 1 ton berat alat agar alat tersebut dapat bergerak naik [6].

Grade resistance adalah besarnya gaya berat yang melawan atau membantu gerak kendaraan karena kemiringan jalur jalan yang dilewati oleh kendaraan tersebut. Pengaruh kemiringan terhadap harga (GR) adalah naik untuk kemiringan positif (akan memperbesar rimpull) dan turun untuk kemiringan negatif (akan memperkecil rimpull). Besarnya (GR) tergantung pada kemiringan jalan (%) dan berat kendaraan tersebut (ton). Besarnya (GR) dinyatakan rata-rata 20 lb dari rimpull untuk setiap gross berat kendaraan beserta isinya pada setiap kemiringan 1% [10].

Tahanan gelinding (Grade Resistance) dapat dihitung menggunakan persamaan sebagai berikut [12].

$$GR = G\% \times 20 \text{ lb/ton}$$

Perhitungan untuk kemiringan jalan dapat menggunakan persamaan berikut [1].

$$\text{Grade} = \frac{\Delta h}{\Delta x} \times 100 \%$$

Keterangan :

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

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

2.3.3 Total Tahanan (Total Resistance)

Total tahanan merupakan jumlah dari tahanan gelinding dan tahanan kelandaian dengan persamaan sebagai berikut :

$$TR = RR \pm GR$$

Nilai GR akan berubah berdasarkan keadaan permukaan jalan, pada jalan naik arah GR sama dengan arah RR sehingga rumus menjadi:

$$TR = RR + GR$$

Sementara itu, pada jalan menurun arah GR berlawanan dengan arah RR sehingga rumus menjadi:

$$TR = RR - GR$$

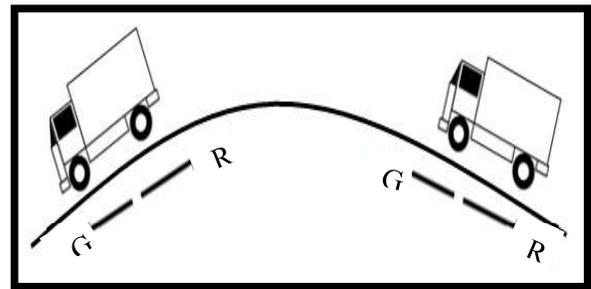
Keterangan:

TR = Total resistance (lb/ton)

RR = Rolling resistance (lb/ton)

GR = Grade resistance (lb/ton) [6].

Adapun tahanan gelinding dan tahanan kelandaian pada jalan menanjak dan jalan menurun dapat dilihat pada gambar berikut:



Gambar 1. Total tahanan

2.3.4 Rimpull

Rimpull merupakan tenaga gerak yang disediakan mesin kepada roda-roda gerak suatu kendaraan yang dinyatakan dalam kilogram atau lbs. Jika secara rinci tidak disediakan oleh pabrik pembuat alat/kendaraan tenaga roda dapat dihitung menggunakan persamaan berikut :

$$RP = \frac{375 \times \text{HP} \times \text{Efisiensi}(\%)}{V}$$

Keterangan :

RP = Rimpull (lb)

HP = Tenaga mesin

V = Kecepatan truk (mph) [14].

Rumus lain untuk menghitung rimpull dengan efisiensi untuk kendaraan beroda ban kira-kira antara 80-85% dapat dihitung menggunakan rumus berikut :

$$RP = \frac{0,9 \times \text{in lbs eng. Torque} \times \text{Total gear ratio} \times \text{ME}}{\text{tire rolling Radius in inches}}$$

$$\text{Torque} = \frac{\text{HP} \times 5252}{\text{RPM}}$$



Total gear ratio = Transmission ratio × overall axle ratio

Keterangan :

- RP = Rimpull (lb)
ME = Efisiensi Mekanis(%)
HP = Tenaga Kuda
Engine Torque = gaya yang diperlukan untuk menggerakkan alat (lb.feet) [5].

2.4 Faktor yang Mempengaruhi Produktivitas Alat Mekanis

Beberapa Beberapa faktor yang dapat mempengaruhi kemampuan produksi alat pada saat beroperasi adalah:

2.4.1 Faktor Pengembangan Material (Swell Factor)

Faktor pengembangan material merupakan perubahan (penambahan atau pengurangan) volume material ketika sudah diganggu dari bentuk aslinya. Untuk menghitung nilai *swell factor* dapat menggunakan persamaan berikut:

$$\text{swell factor} = \frac{\text{volume asli}}{\text{volume lepas}} \times 100\%$$

2.4.2 Faktor Pengisian Mangkuk (Bucket Fill Factor)

Faktor pengisian mangkuk biasanya disebut sebagai *bucket fill factor*. Faktor pengisian merupakan perbandingan dari kapasitas aktual pada alat muat dengan kapasitas teoritis alat muat yang dinyatakan dalam bentuk persen. Semakin besar nilai faktor pengisian maka semakin besar pula kemampuan aktual dari alat muat tersebut. berikut merupakan persamaan untuk menghitung *bucket fill factor* :

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

Keterangan :

- BFF = Faktor isian mangkuk (%)
V_n = Volume nyata (m³)
V_d = Volume teoritis (m³) [12].

Table 2. Nilai *Bucket Fill Factor*

<i>Bucket Fill Factor</i>		
Kategori	Kondisi Operasi Penggalian	<i>Bucket Factor</i>
Mudah	Tanah liat, tanah lunak	1,1 – 1,2
Sedang	Tanah asli kering, Berpasir	1,0 – 1,1
Agak sulit	Tanah asli berpasir dan berkerikil	0,8 – 0,9
Sulit	Tanah keras bekas ledakan	0,7 – 0,8

2.4.3 Waktu Edar (Cycle Time)

Waktu edar adalah jumlah waktu yang diperlukan untuk menyelesaikan satu siklus produksi. Lamanya waktu edar dari alat-alat mekanis akan berbeda antara material yang satu dengan yang lainnya, hal ini tergantung dari jenis alat dan sifat dari material yang ditangani [3].

Waktu edar alat gali-muat merupakan penjumlahan dari waktu menggali, waktu ayunan bermuatan, waktu menumpahkan material dan waktu ayunan kosong.

$$(Cm = Tm_1 + Tm_2 + Tm_3 + Tm_4)$$

Keterangan:

- C_m = Waktu Pemuatan (*loading time*) (detik).
T_{m1} = Waktu menggali (*digging time*) (detik).
T_{m2} = Waktu ayunan muatan (*swing time*) (detik).
T_{m3} = Waktu menumpahkan material (*dumping time*) (detik)
T_{m4} = Waktu ayunan kosong (*empty swing time*) (detik) [7].

Waktu edar alat angkut merupakan penjumlahan dari waktu mengisi material, waktu mengangkut material, waktu mengosongkan bak, waktu kembali kosong dan waktu tunggu.

$$(CT = LT + HT + DT + RT + ST)$$

Keterangan:

- CT = Cycle Time (detik).
LT = Loading Time (detik).
HT = Hauling Time (detik).
DT = Dumping Time (detik).
RT = Return Time (detik).
ST = Spotting Time (detik) [6].

2.4.4 Efisiensi Kerja

Efisiensi kerja adalah penilaian terhadap pelaksanaan suatu pekerjaan atau merupakan suatu perbandingan antara waktu yang dipakai untuk bekerja dengan waktu yang tersedia. Dengan berkurangnya waktu kerja efektif akan berpengaruh terhadap produksi alat mekanis tersebut. Berikut persamaan yang dapat digunakan untuk menghitung efisiensi kerja adalah sebagai berikut [11].

$$(EK = \frac{W_e}{W_t} \times 100\%)$$

Keterangan :



EK = Efisiensi kerja (%)
 We = Waktu kerja efektif (jam)
 Wt = Waktu yang tersedia (jam)

Untuk mendapatkan angka produksi aktual, efisiensi kerja harus ditentukan berdasarkan kondisi operasi aktual. Efisiensi kerja dalam penggunaan umum tercantum pada tabel referensi sebagai berikut [19].

Table 3. Efisiensi Kerja

Kondisi operasi	Efisiensi kerja
Sangat baik	0,83
Baik	0,75
Sedang	0,67
Kurang baik	0,68

2.5 Produktivitas Mekanis

Perhitungan produktivitas dapat digunakan untuk menilai kinerja dari alat mekanis yang digunakan. Produktivitas tergantung pada kapasitas dan waktu siklus alat mekanis. Semakin baik penggunaan alat mekanis maka semakin besar produksi yang dihasilkan alat tersebut.

2.5.1 Produktivitas Alat Gali Muat

Kegiatan penggalian dan pemuatan *overburden* dan *ore* digunakan alat muat *excavator*. Untuk mengetahui produksi alat gali tersebut digunakan persamaan sebagai berikut :

$$\left(Q = q \times \frac{3600}{cm} \times E \right)$$

Keterangan :

Q = Produksi per jam (m³/jam)
 q = Produktivitas persiklus (m³).
 E = Efisiensi kerja (%)
 Cm = Waktu edar alat gali-muat (detik)

Nilai q dapat dihitung dengan menggunakan persamaa sebagai berikut :
 $(q = q1 \times K)$

Keterangan :

q1 = Kapasitas *bucket*(m³)
 K = *Bucket fill factor* [7].

2.5. Produktivitas Alat Gali Angkut

Produktivitas sebuah truk bergantung pada ukuran muatan dan jumlah perjalanan yang dilakukannya dalam satuan waktu. Jumlah perjalanan yang diselesaikan perjam adalah fungsi dari waktu siklus. Waktu siklus truk angkut memiliki empat komponen yaitu pemuatan, pengangkutan, pembuangan dan pengembalian.

Waktu angkut dan waktu kembali akan bergantung pada berat truk, tenaga kuda mesin, jarak angkut dan kembali serta kondisi jalan yang dilalui [8].

Alat angkut yang digunakan adalah *dump truck*. Adapun rumus yang digunakan untuk menghitung produksi alat angkut *dump truck* dapat diketahui dengan persamaan sebagai berikut:

$$\left(P = C \times \frac{3600}{cm} \times Et \times m \right)$$

Keterangan :

P = Produksi per jam (m³/jam)
 C = Produktivitas persiklus (m³).
 Et = Efisiensi kerja (%)
 Cm = Waktu edar alat gali-muat (detik)
 m = Jumlah truk (unit)

Nilai C dapat dihitung dengan menggunakan persamaan sebagai berikut :
 $(C = n \times q1 \times K)$

Keterangan :

n = Jumlah pengisian
 q1 = Kapasitas *bucket* (m³).
 K = *Bucket fill factor* (%) [7].

2.6 Jumlah Alat Gali-Muat dan Alat Angkut yang Dibutuhkan

Untuk menghitung jumlah alat gali-muat dan alat angkut dapat dilakukan dengan membagi produktivitas alat mekanis (P) dengan target produksi (T) yang telah ditetapkan dengan Persamaan [9].

$$\left(N = \frac{T}{P} \right)$$

Keterangan :

N = Jumlah alat yang dibutuhkan (unit)
 T = Target produksi (ton/bulan)
 P = Produktivitas alat (bcm/jam)

2.7 Teori antrian

Teori antrian adalah ilmu yang mempelajari suatu antrian dimana antrian merupakan kejadian yang biasa terjadi dalam kehidupan sehari-hari dan berguna baik bagi perusahaan manufaktur atau jasa. Faktor-faktor yang mempengaruhi analisis antrian adalah:

2.7.1 Pola kedatangan

Pola kedatangan adalah dengan cara bagaimana individu dari populasi memasuki sistem. Untuk pola kedatangan menggunakan asumsi distribusi probabilitas poisson, yaitu salah satu pola kedatangan per unit waktu ketika sejumlah besar variabel acak mempengaruhi tingkat kedatangan.

2.7.2 Perilaku konsumen

Tindakan individu yang melibatkan pembelian penggunaan barang dan jasa termasuk proses pengambilan keputusan yang mendahului dan menentukan tindakan tersebut sebagai pengalaman dengan produk.

2.7.3 Aturan antrian

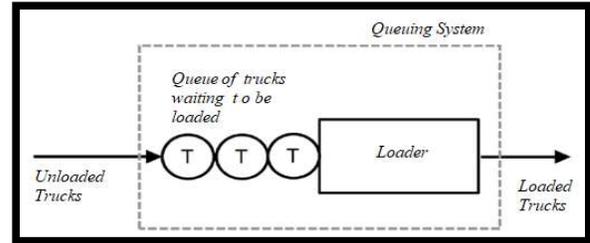
Aturan keputusan yang menjelaskan cara melayani pengantri, misalnya, datang awal dilayani dulu, datang terakhir dilayani dulu, berdasarkan prioritas, dan secara random.

2.7.4 Sistem pelayanan

Pelayanan atau mekanisme pelayanan dapat terdiri dari atau lebih pelayanan, atau satu atau lebih fasilitas pelayanan. Pelayanan hanya terdiri dari satu pelayan dalam satu fasilitas pelayanan yang ditemui pada loket [2].

2.7.5 Tertib

Aturan di mana para pelanggan dilayani, atau disiplin pelayan (*service discipline*) yang memuat uraian (*order*) para pelanggan menerima layanan. Teori antrian dapat digunakan dalam menganalisis secara statistik biaya *dump truck* dan alat muat yang diperlukan untuk sejumlah truk sehingga jumlah truk optimum dapat ditentukan. Selain itu teori antrian juga dapat memberikan gambaran mengenai produksi optimum yang bisa dicapai dengan biaya paling minim. Aplikasi teori antrian dapat mengambil contoh sebuah alat muat digunakan untuk melayani beberapa truk, dimana truk ini akan mengangkut muatan ke lokasi tujuan, menumpukannya, dan kembali ketempat pemuatan untuk pemuatan selanjutnya. Model antrian dalam pelayanan *dump truck* dapat dilihat pada gambar :



Gambar 2. 2 Sistem antrian alat muat dan dump truck [9]

2.8 Pelayanan antrian

2.8.1 Probabilitas keadaan antrian

Proses pemecahan masalah menggunakan metode antrian yang kemudian dilakukan perhitungan pada tahapan yang akan terjadi antrian, selanjutnya dilakukan perhitungan probabilitas keadaan antrian kemudian untuk mengetahui jumlah alat angkut yang mengantri, waktu tunggu, kebutuhan alat angkut, dan produktivitas dari alat angkut menurut teori antrian. Persamaan yang digunakan ialah sebagai berikut :

$$\left| \begin{matrix} K+M-1 \\ K \end{matrix} \right| = \frac{(K+M-1)!}{(M-1)!K!}$$

Selanjutnya probabilitas keadaan antrian putaran untuk 4 (empat) tahap dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut:

$$P(n_1, n_2, n_3, n_4) = \frac{\mu_1^{K-n_1}}{n_2! \mu_2^{n_2} n_3! \mu_3^{n_3} n_4! \mu_4^{n_4}} P(K, 0, 0, 0)$$

Keterangan:

- μ = Tingkat pelayanan rata-rata dalam satu sistem dalam unit/jam
- N = Jumlah populasi dalam banyak unit
- M = Tahap-tahap dalam antrian
- n = Jumlah individu dalam sistem pada suatu waktu dalam unit.

2.8.2 Rata-Rata Jumlah Alat Angkut Menunggu Dalam Antrian

Dalam sistem antrian putaran untuk 4 tahap, rata-rata jumlah alat angkut menunggu dalam antrian dihitung dengan ketentuan sebagai berikut:

1. Tahap 1 (loading)

Alat angkut menunggu untuk dimuati alat gali-muat dengan ketentuan $n_1 \geq 2$, sehingga rata-rata alat angkut yang menunggu untuk dimuati ditentukan dengan persamaan berikut:



$$L_{q1} = \sum (n_1 - 1) p(n_1, n_2, n_3, n_4)$$

Keterangan :

L_{q1} = Jumlah alat angkut yang antri pada tahap 1

2. Tahap 3 (*dumping*)

Alat angkut menunggu untuk menumpahkan muatan di *dumping area stockpile* dengan ketentuan $n_3 \geq 2$, sehingga rata-rata alat angkut yang menunggu untuk menumpahkan muatan ditentukan dengan persamaan berikut:

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

Keterangan :

L_{q3} = Jumlah alat angkut yang antri pada tahap 3

2.8.3 Rata-Rata Waktu Tunggu Alat Angkut Dalam Antrian

Dalam sistem antrian putaran untuk 4 tahap, rata-rata waktu tunggu alat angkut dalam antrian dihitung dengan ketentuan sebagai berikut:

1. Tahap 1

Tingkat penggunaan tahap 1, diperoleh pada kondisi $n_1 > 1$, yaitu keadaan dimana ada alat angkut yang datang ketahap 1 yang dihitung dengan menggunakan persamaan:

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

Keterangan :

η_1 = Tingkat penggunaan tahap 1

Untuk mengetahui jumlah alat angkut yang dapat terlayani pada tahap 1 adalah dengan menggunakan persamaan berikut:

$$\phi_1 = \eta_1 \times \mu_1$$

Keterangan :

ϕ_1 = Jumlah alat angkut yang dapat terlayani pada tahap 1

η_1 = Tingkat penggunaan tahap 1

μ_1 = Tingkat pelayanan tahap 1

Untuk mengetahui rata-rata waktu tunggu alat angkut dalam antrian pada alat gali muat (tahap 1) adalah dengan menggunakan persamaan berikut:

$$W_{q1} = \frac{L_{q1}}{\phi_1}$$

Keterangan :

W_{q1} = Waktu tunggu alat angkut pada tahap 1

L_{q1} = Jumlah alat angkut yang antri pada tahap 1

ϕ_1 = Jumlah alat angkut yang dapat terlayani pada tahap 1

2. Tahap 3

Tingkat penggunaan tahap 3, diperoleh pada kondisi $n_3 > 1$, yaitu keadaan dimana ada alat angkut yang datang ketahap 3 yang dihitung dengan menggunakan persamaan:

$$\eta_3 = \sum P(n_1, n_2, n_3 \geq 1, n_4)$$

Keterangan :

η_3 = Tingkat penggunaan tahap 3

Untuk mengetahui jumlah alat angkut yang dapat terlayani pada tahap 3 adalah dengan menggunakan persamaan:

$$\phi_3 = \eta_3 \times \mu_3$$

Keterangan :

ϕ_3 = Jumlah alat angkut yang dapat terlayani pada tahap 3

η_3 = Tingkat penggunaan tahap 3

μ_3 = Tingkat pelayanan tahap 3

Untuk mengetahui rata-rata waktu tunggu alat angkut dalam antrian pada *dumping area stockpile* (Tahap 3) adalah dengan menggunakan persamaan:

$$W_{q3} = \frac{L_{q3}}{\phi_3}$$

Keterangan :

W_{q3} = Waktu tunggu alat angkut pada tahap 3

L_{q3} = Jumlah alat angkut yang antri pada tahap 3

ϕ_3 = Jumlah alat angkut yang dapat terlayani pada tahap 3

2.8.3 Waktu edar (*cycle time*) alat angkut

Berdasarkan penerapan metode antrian maka total waktu edar alat angkut ditentukan menggunakan persamaan sebagai berikut :

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

Keterangan:

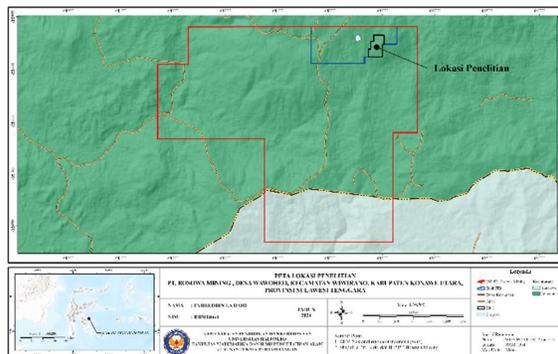
W_q = Waktu tunggu alat angkut

μ = Tingkat pelayanan alat angkut [4].

3. METODE PENELITIAN

3.1 Lokasi dan Waktu Penelitian

Penelitian ini akan dilaksanakan selama ± 3 bulan di PT. Bosowa Mining yang secara administrasi lokasi penelitian terletak di Desa Wawoheo, Kecamatan Wiwirano, Kabupaten Konawe Utara, Provinsi Sulawesi Tenggara. Untuk menuju lokasi penelitian dapat di tempuh ± 5 jam dengan menggunakan kendaraan roda dua maupun roda empat dari Kota Kendari dengan jarak tempuh ± 204 km. Lokasi penelitian dapat dilihat pada **Gambar 2**.



Gambar 2. Peta Lokasi Penelitian

3.2 Jenis Penelitian

Jenis penelitian yang digunakan adalah jenis penelitian yang menggunakan metode kuantitatif. Metode kuantitatif adalah penelitian yang menggunakan format terstruktur dengan pengumpulan data berdasarkan pengamatan secara langsung untuk memperoleh data primer. Kemudian dilanjutkan dengan mencari data sekunder dan studi pustaka untuk melakukan analisis data. Data yang telah diperoleh tersebut diolah secara matematis.

3.3 Instrumen Penelitian

Alat dan bahan yang digunakan dalam penelitian ini dapat dilihat pada **Tabel 3**.

Tabel 3. Alat dan bahan penelitian

No	Nama alat	Kegunaan
1.	ATK	Untuk menulis hasil pengamatan dilapangan

2.	Kamera	Untuk dokumentasi
3.	Laptop	Untuk membantu pengolahan data dan pembuatan laporan
4.	Pakaian <i>safety</i>	Untuk melindungi tubuh dari hal-hal yang membahayakan dilapangan
6.	<i>Stopwatch</i>	Untuk menghitung <i>cycle time</i> alat

3.4 Prosedur Penelitian

Penelitian ini agar dapat berjalan sesuai dengan yang diharapkan tentunya memiliki prosedur atau tahapan-tahapan dari awal sampai akhir. Adapun prosedur atau tahapan-tahapan tersebut adalah sebagai berikut :

3.4.1 Observasi Lapangan

Pada tahap ini dilakukan pengamatan atau observasi terhadap kondisi di lapangan agar dapat memperoleh gambaran awal tentang lokasi dan kegiatan penelitian.

3.4.2 Studi literatur

Kegiatan pada tahap ini adalah pengumpulan literatur atau referensi-referensi yang mendukung kegiatan penelitian seperti yang terkait dengan perencanaan tambang, produktivitas alat dan penjadwalan produksi.

3.4.3 Pengambilan dan Pengumpulan data

Data yang dimaksud pada penelitian ini terdiri dari data primer dan data sekunder. Data primer yaitu data yang pengambilannya dilakukan secara langsung oleh peneliti sedangkan data sekunder adalah data yang diperoleh langsung dari perusahaan.

1. Data Primer

Data primer merupakan data yang diperoleh secara langsung di lapangan dari objek penelitian atau dikumpulkan dengan melakukan pengamatan secara langsung di lapangan. Data yang diperoleh secara langsung di lapangan dan pengamatan dengan cara peninjauan lapangan terhadap kegiatan di daerah yang diteliti perlu dilakukan pengolahan lebih lanjut lagi. Data primer pada penelitian ini berupa:

1. Waktu edar (*cycle time*) alat gali muat
 - *Digging time*
 - *Swing time/loaded*
 - *Dumping time*
 - *Swing time/empty*
2. Waktu edar (*cycle time*) alat angkut
 - Waktu pemuatan



- Waktu menumpahkan muatan

2. Data Sekunder

Data primer merupakan data yang diperoleh secara langsung di lapangan dari objek penelitian atau dikumpulkan dengan melakukan pengamatan secara langsung di lapangan. Data yang diperoleh secara langsung di lapangan dan pengamatan dengan cara peninjauan lapangan terhadap kegiatan di daerah yang diteliti perlu dilakukan pengolahan lebih lanjut lagi. Data primer pada penelitian ini berupa:

1. Lokasi blok
2. Data *density material overburden*
3. Kalender kerja perusahaan
4. Spesifikasi peralatan mekanis
5. Nilai *bucket fill factor*
6. *Stripping overburden*

3.4.4 Pengolahan data

Setelah dilakukan pengumpulan data dari kegiatan sebelumnya, seperti data volume *overburden*, data waktu edar alat, data waktu jam kerja, per *shif* serta spesifikasi alat. Data tersebut diolah menggunakan *Microsoft excel* untuk menunjang pencapaian penelitian. Tahapan pengolahan data adalah sebagai berikut:

1. Menentukan alat gali muat dan angkut yang akan digunakan
2. Membuat profil jalan angkut untuk menentukan segmen, jarak dan elevasi jalan angkut dari *pit* ke *disposal*
3. Menghitung *Grade Resisten* berdasarkan *grade* pada setiap segmen jalan angkut dari *pit* ke *disposal* dengan menggunakan persamaan (2.2)
4. Menentukan *Rolling Resistance* untuk setiap jalan angkut berdasarkan *Crr* untuk setiap segmen jalan angkut dari *pit* ke *disposal*

Pit Ke Disposal (Hauling)

Segmen	Tenaga Dibutuhkan	Tenaga Tersedia	Gear	Kecepatan (Km/Jam)
A-B	12555	17576	6	11
B-C	11168	17576	6	11
C-D	9112	11481	7	17
D-E	8175	8505	8	22
E-F	5234	8505	8	22

menggunakan persamaan (2.1)

5. Menghitung *rimpull* untuk mengatasi tahanan gelinding *dump truck* serta mengatasi tahanan kemiringan dari *pit* ke *disposal* dengan menggunakan persamaan (2.6)

6. Menghitung waktu edar (*cycle time*) alat gali muat dan waktu edar alat angkut menggunakan persamaan (2.10) dan (2.11)
7. Menghitung kecepatan *dump truck* dari *pit* ke *disposal* menggunakan persamaan (2.7)
8. Menghitung probabilitas keadaan antrian dari *pit* ke *disposal* menggunakan persamaan (2.17)
9. Menghitung rata-rata jumlah alat angkut menunggu dalam antrian L_{q1} dan L_{q3} dari *pit* ke *disposal* dengan menggunakan persamaan (2.19) dan (2.20)
10. Menghitung rata rata waktu tunggu alat angkut dalam antrian W_{q1} dan W_{q3} dari *pit* ke *disposal* dengan menggunakan persamaan (2.23) dan (2.26)
11. Menentukan *effective work days* (EWD) berdasarkan kalender hari kerja perusahaan
12. Menghitung efisiensi kerja menggunakan persamaan (2.12)
13. Menghitung produktivitas alat gali muat dan alat angkut dengan menggunakan persamaan (2.13) dan (2.15)

3.4.5 Analisis data

Setelah semua data yang dibutuhkan telah diperoleh, kemudian tahapan selanjutnya analisis data dilakukan secara matematis dengan menggabungkan data-data yang diperoleh berupa data primer dan data sekunder sehingga diperoleh hasil sesuai dengan tujuan penelitian ini. Adapun analisis data pada penelitian ini meliputi beberapa tahapan yaitu sebagai berikut:

1. Menganalisis waktu pengangkutan
2. Menganalisis waktu antrian alat angkut
3. Menganalisis jumlah alat gali muat dan angkut yang dibutuhkan dalam kegiatan pengupasan *overburden*

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Pengolahan Data

4.1.1 Analisis *Rimpull* dan Waktu *Hauling*

Untuk mengetahui *rimpull* dan kecepatan yang dibutuhkan alat angkut untuk setiap segmen jalan pada saat pergi dapat dilihat pada **Tabel 4**.

Tabel 4. Perhitungan *Rimpull*

Berikut merupakan hasil dari perhitungan waktu *hauling*, dapat dilihat pada **Tabel 5**.

Tabel 5. Perhitungan waktu *Hauling*

<i>Pit Ke Disposal (Hauling)</i>			
Segmen	Kecepatan (m/m)	Jarak Horizontal (m)	Waktu (menit)
A-B	180	70	0,39
B-C	180	106	0,59
C-D	276	104	0,38
D-E	373	104	0,28
E-F	373	73	0,20
Waktu Tempuh			1,8

4.1.2 Analisis *Rimpull* dan Waktu *Return*

Untuk mengetahui *rimpull* dan kecepatan yang dibutuhkan alat angkut untuk setiap segmen jalan pada saat kembali dapat dilihat pada **Tabel 6**.

Tabel 6. Perhitungan *Rimpull*

<i>Disposal Ke Pit (Return)</i>				
Segmen	Tenaga Dibutuhkan	Tenaga Tersedia	Gear	Kecepatan (Km/Jam)
F-E	2004	6331	9	30
E-D	3130	8505	8	22
D-C	3488	8505	8	22
C-B	4275	11481	7	17
B-A	4806	11481	7	17

Berikut merupakan hasil dari perhitungan waktu *return*, dapat dilihat pada **Tabel 7**.

Tabel 7. Perhitungan waktu *Return*

Tahap 1		Tahap 3	
η_1 (%)	θ_1 (unit/menit)	η_3 (%)	θ_3 (unit/menit)
67	0,444	38	0,444

4.2 Analisis Teori Antrian

4.2.1 Tingkat Pelayanan

Hasil perhitungan tingkat pelayanan *dump truck* dapat dilihat pada tabel berikut :dapat dilihat pada **Tabel 8**.

Tabel 8. Tingkat Pelayanan

Tahap	Tingkat Pelayanan (μ)
1 (μ_1)	0,6667
2 (μ_2)	0,5468
3 (μ_3)	1,1538
4 (μ_4)	0,7450

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

Hasil perhitungan tingkat penggunaan *dump truck* dan jumlah *dump truck* yang terlayani pada tahap 1 adalah sebagai berikut dapat dilihat pada **Tabel 9**.

Tabel 9. Tingkat Penggunaan *Dump Truck*

4.2.3 Jumlah yang antri dan waktu tunggu pada tahap 1 dan tahap 3

Jumlah *dump truck* yang antri dan waktu tunggu pada tahap 1 dan tahap 3 dapat dilihat pada **Tabel 10**.

Tabel 10. Waktu Tunggu

Tahap 1		Tahap 3	
Lq1 (unit)	Wq1 (menit)	Lq3 (unit)	Wq3 (menit)
0,417	0,9	0,127	0,3

4.2.4 Analisis *Cycle Time Dump Truck*

Hasil perhitungan *cycle time dump truck* dapat dilihat pada **Tabel 11**.

Disposal Ke Pit (Return)

Segmen	Kecepatan (m/m)	Jarak Horizontal (m)	Waktu (menit)
F-E	501	73	0,15
E-D	373	104	0,28
D-C	373	104	0,28
C-B	276	106	0,28
B-A	276	70	0,25
Waktu Tempuh			1,3

Tabel 11. *Cycle Time Dump Truck*

Tingkat Pelayanan		
m ₁	0,6372	1,5
m ₂	0,9264	1,8
m ₃	0,8923	0,9
m ₄	1,0704	1,3
Waktu Tunggu		
Tahap 1 (di <i>Pit</i>)	Wq1	0,9
Tahap 3 (di <i>Disposal</i>)	Wq3	0,3
Total CT		6,8

4.3 Produktivitas Alat

4.3.1 Produktivitas Alat Gali muat

Berikut merupakan hasil dari perhitungan produktivitas alat gali muat, untuk produktivitas alat gali muat dapat dilihat pada **Tabel 12**.

Tabel 12. Produksi alat gali pada Pengupasan *Overburden*

No	Uraian	Nilai	Satuan
1	Kapasitas <i>Bucket</i>	1,8	m ³
2	<i>Fill Factor</i>	1,2	%
3	Waktu mengali	6,1	detik
4	Waktu ayun bermuatan	4,3	detik
5	Waktu menumpahkan material	3,8	detik
6	Waktu ayun kosong	4,6	detik
7	<i>cycle time</i>	18,81	detik
8	Efisiensi	83	%
9	<i>Density Overburden</i>	1,6	ton/m ³
10	kapasitas Produksi	343	m ³ /Jam
		549	ton/Jam

Tabel 13. Produksi alat gali pada *Loading Overburden*

No	Uraian	Nilai	Satuan
1	Kapasitas <i>Bucket</i>	1,8	m ³
2	<i>Fill Factor</i>	1,2	%
3	Waktu mengali	6,1	detik
4	Waktu ayun bermuatan	4,3	detik
5	Waktu menumpahkan material	3,8	detik
6	Waktu ayun kosong	4,66	detik
7	<i>cycle time</i>	18,83	detik
8	Efisiensi	83	%
9	<i>Density Overburden</i>	1,6	ton/m ³
10	kapasitas Produksi	343	m ³ /Jam
		548	ton/Jam

4.3.2 Produktivitas Alat Angkut

Berikut merupakan hasil dari perhitungan produktivitas alat gali muat, untuk produktivitas alat gali muat dapat dilihat pada **Tabel 14**.

Tabel 14. Produktivitas alat angkut

No	Uraian	Nilai	Satuan
1	Kapasitas <i>Bucket</i>	1,8	m ³
2	Jarak <i>Hauling</i>	458	meter

3	Waktu pemuatan material	1,5	menit
4	Waktu pergi bermuatan	1,8	menit
5	Waktu tunggu sebelum menumpah	0,3	menit
6	waktu menumpahkan material	0,9	menit
7	Waktu kembali tanpa muatan	1,3	menit
8	Waktu tunggu sebelum dimuati	0,9	menit
9	<i>Cycle time</i>	6,8	menit
10	<i>Density Overburden</i>	1,6	ton/m ³
11	Jumlah pengisian	5	kali
12	Efisiensi	83	%
13	<i>Fill Factor</i>	1,2	%
14	kapasitas Produksi	79,5	m ³ /jam
		127,1	ton/jam

4.4 Penentuan Jumlah Alat

Penentuan jumlah alat gali muat dan angkut ditentukan berdasarkan target produksi dan kapasitas produksi alat. Adapun jumlah alat gali muat yang digunakan yaitu 2 *Excavator SANY 365* dan 3 *Dump Truck Howo 371 HP*. Untuk jumlah alat yang dibutuhkan dapat dilihat pada **Tabel 15**.

Tabel 15. Jumlah Alat Yang Dibutuhkan

Kegiatan	Unit	Jumlah
<i>Diging dan loading Overburden</i>	<i>Excavator Sany 365</i>	2
<i>Hauling Overburden</i>	<i>Dump truck Howo 371 HP</i>	3

5. PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Setelah melakukan kegiatan penelitian mencakup pengumpulan data, analisis data dan pengolahan data pada lokasi penelitian. Penulis mengambil kesimpulan yaitu:

1. Jumlah produktivitas alat gali muat *excavator SANY 365 (diging dan loading)* pada pengupasan *overburden* yaitu 549 ton/jam dan jumlah produksi alat angkut *dump truck HOWO 371 HP* yaitu 127,2 ton/jam.
2. Jumlah alat gali muat dan angkut yang dibutuhkan dalam kegiatan *diging overburden* yaitu menggunakan 1 unit *excavator SANY 365* dan *loading overburden* menggunakan 1 unit *excavator SANY 365*, serta alat angkut yang digunakan dalam kegiatan *hauling overburden* yaitu 3 unit *HOWO 371 HP*.



5.2 Saran

Adapun saran yang dapat diberikan dari hasil penelitian ini yaitu dalam perencanaan kebutuhan alat gali muat dan angkut sangatlah berperan penting dalam kegiatan penambangan sehingga sangat perlu dikaji lebih dalam lagi, dimana dalam penelitian ini hanya memuat jumlah alat tanpa memperhitungkan biaya produksi pada kegiatan penambangan serta untuk penelitian selanjutnya dapat mengambil judul tentang perencanaan biaya dan kebutuhan alat gali muat dan angkut pada kegiatan *ore getting*.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada pihak PT. Bosowa Mining yang telah bersedia menjadi lokasi penelitian penulis serta banyak membantu selama proses penelitian berlangsung.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Bargawa, W. S. (2018). *Perencanaan Tambang*. Yogyakarta. Kilau Book. ISBN : 978-623-7594-31-4
- [2] Botutihe, K., Sumarauw, J. S. B., & Karuntu, M. (2018). *Analisis Sistem Antrian Teller Guna Optimalisasi Pelayanan Pada Pt. Bank Negara Indonesia (Bni) 46 Cabang Unit Kampus Manado*. Jurnal EMBA, vol. (6). no. (3), hal. 1388–1397. ISSN : 2303-1174.
- [3] Deshmukh, S. S., & Jangada, P. N. (2017). Detailed Study on Heavy Equipment With Its Latest Technologies for Excavation of. *International Journal for Research & Development in Technology*, vol. (8), no. (2), hal. (13–20). ISSN : 2349-3585.
- [4] Ercelebi, S. G., & Bascetin, A. (2009). *Optimization of shovel-truck system for surface mining*. *Journal Of The Southern African Institute Of Mining and Metallurgy*. vol. 109. hal. 433–439.
- [5] Indonesianto, Y. (2013). *Pemindahan Alat Mekanis*. CV. Awan Poetih. ISBN: 978-602-820607-5.
- [6] Kholil, A. (2012). *Alat Berat*. Bandung. PT. Remaja Rosdakarya. ISBN: 978-979692-080-8.
- [7] Komatsu. (2019). *Application Handbook Edition 32. October*.
- [8] Peurifoy, R. Schexnayder C. J., schmitt, R. L., & Shappira. (2018). *Construction Planning, Equipment, and Methods*. United States. Mc Graw-Hill Education. ISSB : 978-1-26-010881-1.
- [9] Prasmoro, A. V. (2014). *Optimalisasi produksi dump truck valvo FM 440 dengan metode kapasitas produksi dan teori antrian di lokasi penambangan batubara*. *Jurnal OE*, vol. (VI), no. (1), hal. (93–108).
- [10] Putra, R. N., dan Tamrin, K. (2017). *Evaluasi Teknis Geometri Jalan Upaya Percapaian Target Produksi Tambang Terbuka PT . Allied Angkut Produksi Sebagai Batubara 20000 ton / bulan di Indo Coal Jaya*. vol (4), no. (3), hal. (77–88). ISSN : 2302-3333.
- [11] Rachmadiani, S. I., Sudiyanto, A. Cahyadi. T. A., Inmarlinianto, Winda, & Darwis. (2021). *Analisis rencana kebutuhan alat gali-muat excavator caterpillar 320D2 dan excavator kobelco SK330 terhadap alat angkut dump truck hino FM260jd pada kegiatan penambangan bijih nikel*. *Jurnal Pertambangan Dan Lingkungan*, vol. (2). no. (2), hal. (19–25). ISSN : 2775-1384.
- [12] Ramadhan, M. D., Kesno, Cahyadi, T. A., Nursanto, E., Titisariwati, I., & Sulfa, A. S. (2023). *Technical Study Of The Production Of Loading Tools And Conveyance In Coal Mining Activities*. vol. (5), no. (1). ISSN : 2715-9035.
- [13] Rostiyanti, S. F. (2008). *Alat Berat Untuk Proyeksi Konstruksi*. Jakrta. PT. RINEKA CIPTA. ISSB : 978-979-518-859-6.
- [14] Tenriajeng, A. T. (2003). *Pemindahan Tanah Mekanis (SeriDiktat Kuliah)*, Jakarta. Guanandar.
- [15] Zulkarnain, F. (2020). *Pemindahan Tanah Mekanis dan Peralatan Konstruksi*. Medan. ISBN : 978-623-6888-18-6 .