



PERENCANAAN KEBUTUHAN ALAT GALI-MUAT DAN ALAT ANGGUT PADA PENAMBANGAN BIJIH NIKEL LATERIT SUB BLOK 3B BLOK TAA PT BUMI NIKEL NUSANTARA DESA PUUWONUA KECAMATAN ANDOWIA KABUPATEN KONAWA UTARA PROVINSI SULAWESI TENGGARA

Nindy Alam¹, Firdaus², Muhammad Ilham Kadar³, Ika Sartika Ambarsari⁴

Jurusan Teknik Pertambangan Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam
Universitas Halu Oleo
Kampus Bumi Hijau Tri Dharma Anduonohu, Kendari, Indonesia 93231
nindyalam55@gmail.com

Intisari

Potensi bijih nikel yang ada di Provinsi Sulawesi Tenggara mendorong PT. Bumi Nikel Nusantara untuk melakukan kegiatan dalam sektor pertambangan dengan luas Izin Usaha Pertambangan (IUP) sekitar 386 Ha yang berada di Desa Puuwonua, Kecamatan Andowia, Kabupaten Konawe Utara, Provinsi Sulawesi Tenggara. PT. Bumi Nikel Nusantara berencana membuka *pit* baru pada blok TAA yaitu sub blok 3B karena pernah mengalami ketidak tercapaian produksi, sehingga dilakukan penentuan jumlah alat gali-muat dan alat angkut yang akan digunakan pada kegiatan pengupasan *overburden* dan pengambilan *ore* pada sub blok 3B blok TAA PT. Bumi Nikel Nusantara. Berdasarkan hasil penelitian, jumlah alat mekanis yang digunakan pada setiap kegiatan berbeda. Pada kegiatan *removal overburden* alat gali-muat yang digunakan adalah *excavator* Komatsu PC300 sebanyak 2 unit. Alat gali-muat *excavator* yang digunakan pada *removal overburden* berbeda dengan alat yang digunakan dalam kegiatan *ore getting*, untuk kegiatan *ore getting* menggunakan 2 unit *excavator* Sumitomo 210. Namun untuk *loading overburden* dan *loading ore* keduanya menggunakan *excavator* Komatsu PC300. Untuk kegiatan *loading overburden* menggunakan 2 unit *excavator* Komatsu PC300, sedangkan untuk *loading ore* hanya menggunakan 1 unit *excavator* Komatsu PC300. Dalam pemilihan alat angkut kedua material baik *overburden* maupun *ore*, keduanya menggunakan *Dump Truck* Hino FM 260 JD ID. Untuk pengangkutan *overburden* dari *pit* ke *disposal* menggunakan 4 unit *dump truck* dan untuk pengangkutan *ore* dari *pit* ke ETO (*Exportable Transit Ore*) menggunakan 14 unit *dump truck*.

Kata kunci: Nikel, alat gali-muat, alat angkut, *overburden*, *disposal*

ABSTRACT

The potential for nickel ore in Southeast Sulawesi Province has encouraged PT. Bumi Nikel Nusantara to carry out activities in the mining sector with an area of Mining Business License (IUP) of around 386 Ha located in Puuwonua Village, Andowia District, North Konawe Regency, Southeast Sulawesi Province. PT. Bumi Nickel Nusantara plans to open a new pit in the TAA block, namely sub-block 3B due to production failures, so the number of digging and hauling equipment to be used for overburden stripping and ore getting in TAA sub-block 3B PT. Bumi Nikel Nusantara. Based on the research results, the number of mechanical devices used in each activity is different. In the overburden removal activity, 2 units of Komatsu PC300 excavators were used. The excavator loading and digging tools used for overburden removal are different from the tools used in ore getting activities, for ore getting activities use 2 Sumitomo 210 excavators. However, for overburden loading and ore loading, both use Komatsu PC300 excavators. For overburden loading activities, 2 Komatsu PC300 excavators were used, while for ore loading, only 1 Komatsu PC300 excavator was used. In selecting the means of conveying the two materials, both overburden and ore, both used the Hino FM 260 JD ID Dump Truck. For overburden transportation from pit to disposal using 4 units of dump trucks and for transporting ore from pit to ETO (Exportable Transit Ore) using 14 units of dump trucks.

Keywords: *Nickel, digging equipment, transportation equipment, overburden, disposal*

1. PENDAHULUAN

Penambangan merupakan seluruh usaha pencarian bahan galian berharga yang bernilai ekonomis yang meliputi, penggalian, pengolahan, pemanfaatan bahan galian yang bersifat ekonomis. Dalam mengelola pertambangan harus padat modal, beresiko tinggi dan materialnya tidak dapat diperbaharui. Potensi bijih nikel di Provinsi Sulawesi Tenggara telah mendorong PT. Bumi Nikel Nusantara untuk melakukan kegiatan dalam sektor pertambangan dengan luas Izin Usaha Pertambangan (IUP) sekitar \pm 386 Ha yang berada di Desa Puuwonua, Kecamatan Andowia, Kabupaten Konawe Utara, Provinsi Sulawesi Tenggara.

Pada kegiatan penambangan mutlak membutuhkan peralatan tambang untuk operasi penambangan, antara lain alat gali-muat dan alat angkut yang digunakan untuk melakukan kegiatan penambangan. Kegiatan penambangan tersebut meliputi kegiatan pengupasan lapisan *overburden* dan pengambilan *ore*.

Pengupasan lapisan *overburden* merupakan salah satu kegiatan yang sangat mempengaruhi dalam kegiatan penambangan, makin cepat kegiatan pengupasan lapisan *overburden* maka kegiatan penambangan juga akan semakin cepat. Pengambilan *ore* merupakan proses kegiatan pengambilan bijih nikel dari dalam permukaan bumi dengan menggunakan alat berat berupa *excavator*. Pengupasan lapisan *overburden* dan *ore getting* yang akan dilakukan oleh PT. Bumi Nikel Nusantara menggunakan kombinasi antara alat gali dan alat angkut.

Saat ini perusahaan berencana membuka *pit* baru pada blok TAA(Tirto Alam Anugrah) dengan luas 10 Ha dengan target produksi 100.000 ton *ore* dan 120.000 ton *overburden* perbulan dengan volume *overburden* 1.200.000 m³ dan volume *ore* 600.000 m³, karena di PT. Bumi Nikel Nusantara pernah mengalami ketidak tercapaian produksi dan salah satu penyebabnya adalah jumlah penggunaan alat. Oleh karena itu perlu dilakukan perencanaan kebutuhan alat gali-muat dan alat angkut yang akan digunakan agar target produksi selanjutnya dapat tercapai.

2. TINJAUAN PUSTAKA

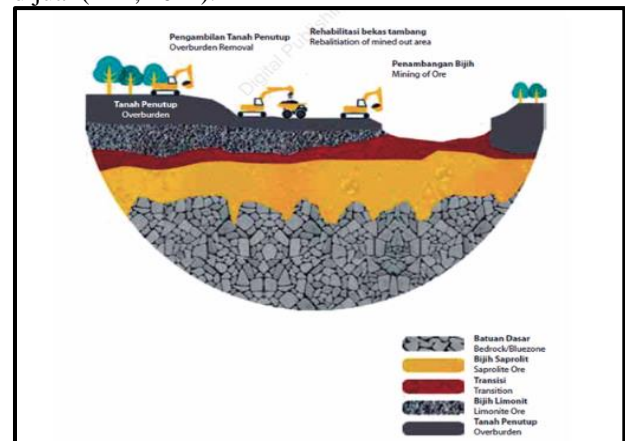
2.1 Nikel Laterit

Endapan nikel laterit merupakan suatu endapan yang terbentuk karena adanya proses konsentrasi mineral-mineral berharga yang mengandung nikel yang berasal dari pelapukan batuan asal (*host rock*) oleh gaya-gaya eksogen, seperti pelapukan (*weathering*) akibat sinar matahari, curah hujan, dan lain-lain. Hasil pelapukan tersebut mengalami transportasi, pemisahan (*sorting*), dan akhirnya terkonsentrasi. Endapan ini mengalami proses laterisasi yang umumnya terjadi di daerah beriklim tropis karena matahari terus bersinar sepanjang tahun dan curah hujan pun cenderung tinggi. Sumber utama endapan nikel laterit adalah batuan ultramafik. Di Indonesia, batuan ultramafik tersebar di pulau Kalimantan, Sulawesi, Maluku, dan Papua. Batuan

ultramafik dapat mengalami pelapukan karena beberapa factor penting, salah satunya adalah tatanan geologi setempat. Tatanan geologi di pulau Sulawesi merupakan salah satu contoh geologi yang kompleks karena merupakan daerah pertemuan tiga buah lempeng, yaitu lempeng Eurasia yang bergerak ke arah selatan dan tenggara, lempeng filipina dan samudera pasifik yang bergerak ke arah barat, serta lempeng indo-australia yang bergerak ke arah utara. Pertemuan ketiga lempeng tersebut berdampak pada terbentuknya banyak sesar di pulau Sulawesi yang mendukung terjadinya proses pelapukan batuan ultramafik (Arif, 2018).

2.2 Tahapan Penambangan Bijih Nikel laterit

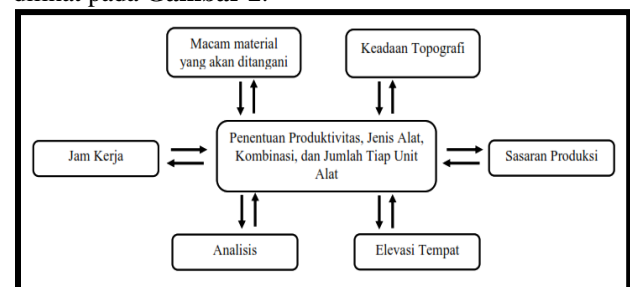
Ilustrasi metode tambang terbuka bijih nikel diperlihatkan **Gambar 1**. Kegiatan tersebut terdiri atas beberapa tahap, antara lain persiapan pembukaan lahan (*land clearing*), pengupasan tanah pucuk (*top soil stripping*), pengupasan lapisan penutup (*overburden removal*), dan penggalian bijih nikel (*nickel ore mining*). Bijih yang telah ditambang kemudian diolah sebelum dijual (Arif, 2021).



Gambar 1. Proses Penambangan pada Endapan Nikel

2.3 Peralatan tambang

Dalam merencanakan sistem peralatan yang akan dipakai, perlu dilakukan penentuan dan pemilihan peralatan. Penambangan bijih nikel berkaitan erat dengan penggunaan alat-alat mekanis. Oleh karena itu diperlukan rencana pemilihan peralatan tambang, agar peralatan yang akan digunakan sesuai dengan kondisi dimana peralatan tersebut bekerja. Hubungan variabel yang mempengaruhi pemilihan peralatan tambang dapat dilihat pada **Gambar 2**.



Gambar 2. Hubungan Variabel yang Mempengaruhi Pemilihan Peralatan Tambang (Sumber: Indonesianto, 2013)

Alat angkut digunakan untuk memindahkan material dari satu lokasi ke lokasi lain. Jenis alat angkut yang digunakan dalam kegiatan konstruksi antara lain *crane, bulldozer, excavator, loader, shovel*, traktor dan truk. Produktivitas adalah faktor terpenting yang mempengaruhi kinerja keseluruhan dari setiap proyek konstruksi. Produktivitas peralatan tergantung pada ketersediaan bahan baku, tenaga, keterampilan pekerja, tata letak alat berat, dan lain - lain (Varghese, A dan Xavier, 2018).

Langkah-langkah siklus kritis, sebagai fraksi waktu dari siklus total, telah diidentifikasi oleh Krause (2006):

1. Tempat saat memuat adalah waktu yang dibutuhkan truk, segera setelah tiba di dekat sekitar *excavator*, untuk bermanuver ke posisi berhenti untuk memuat.
2. Waktu muat adalah waktu total bagi pemuat untuk memuat truk.
3. Waktu angkut penuh adalah total waktu perjalanan truk yang dimuati untuk mencapai lokasi pembuangan dari lokasi pemuatan.
4. Waktu kosong perjalanan mengacu pada total waktu perjalanan truk kosong untuk mencapai lokasi pemuatan dari lokasi pembuangan.
5. Waktu antrian adalah total waktu truk kosong harus menunggu dalam antrean sebelum dapat bermanuver ke posisi pemuatan (Pasch dan Uludag, 2018).

Waktu siklus operasional peralatan muat dan angkut merupakan faktor kepentingan yang relevan dalam industri ini. Selain itu, literatur menunjukkan bahwa waktu siklus alat angkut meliputi waktu muat, waktu angkut (penuh), waktu pembuangan, waktu kembali (kosong), antrian, spotting dan mundur. Faktor penting dalam definisi metodologi pemuatan yang akan digunakan adalah karakteristik material yang akan diangkut (Tapia dkk., 2021).

2.4 Faktor-Faktor yang Mempengaruhi Produktivitas Alat Mekanis

1. Waktu Kerja Efektif dan Efisiensi Kerja

Effisiensi kerja merupakan penilaian terhadap pelaksanaan suatu pekerjaan atau perbandingan antara waktu yang dipakai untuk bekerja dengan waktu yang tersedia, dinyatakan dalam (%). Waktu kerja adalah jumlah waktu kerja yang digunakan untuk melakukan penggalan, pemuatan dan pengangkutan. Effisiensi kerja ini dapat mempengaruhi kemampuan produksi dari suatu alat. Faktor manusia, mesin (alat) keadaan cuaca dan kondisi kerja secara keseluruhan akan menentukan besarnya efisiensi kerja. Waktu kerja efektif dapat ditentukan dengan menggunakan persamaan (Franicha dkk., 2017):

$$EK = \frac{W_{ke}}{W_{kt}} \times 100\%$$

$$W_{ke} = W_{kt} - (W_{td} + W_{hd})$$

Dimana:

- EK = Efisiensi kerja (%)
- W_{ke} = Waktu kerja efektif (menit)
- W_{kt} = Waktu kerja yang tersedia (menit)
- W_{hd} = Waktu hambatan dihindari (menit)
- W_{td} = Waktu hambatan tidak dapat di hindari (menit)

Untuk mendapatkan angka produksi aktual, efisiensi pekerjaan harus ditentukan sesuai dengan kondisi operasi aktual. Efisiensi kerja (dalam penggunaan umum) dicantumkan pada **Tabel 1** berikut untuk referensi (Komatsu, 2019).

Tabel 1. Efisiensi Kerja dalam berbagai kondisi operasi

Kondisi Operasi	Efisiensi Kerja (%)
Sangat baik	85
Baik	75
Sedang	67
Kurang baik	58

2. Faktor Pengembangan Material (*Swell Factor*)

Swell adalah pengembangan volume suatu material setelah digali dari tempatnya. Apabila material digali dari tempat aslinya, maka akan terjadi pengembangan volume (*swell*). Untuk menyatakan berapa besarnya pengembangan volume itu dikenal dua istilah yaitu faktor pengembangan (*swell factor*) dan persen pengembangan (*percent swell*). Besarnya faktor pengembangan material dapat dihitung dengan menggunakan persamaan (Indonesianto, 2013).

$$Swell\ Factor(\%) = \frac{Bank\ volume}{Loose\ volume}$$

Dimana:

- Swell Factor* = Faktor pengembangan
- Bank volume* = Volume dalam keadaan *bank*
- Loose volume* = Volume dalam keadaan *loose*

3. Faktor Pengisian (*Fill Factor*)

Faktor pengisian *bucket* (BFF) digunakan untuk menentukan seberapa baik volume *bucket* digunakan. Faktor pengisian *bucket* sangat berguna untuk menentukan produktivitas. Secara matematis dinyatakan dalam persamaan berikut (Pasch dan Uludag, 2018):

$$Bucket\ Fill\ Factor(\%) = \frac{volume\ of\ materials\ in\ the\ bucket}{Bucket\ capacity}$$

Besarnya nilai faktor isian mangkuk (*bucket fill factor*) tergantung dari jenis material yang akan digali. Untuk faktor *bucket excavator* diperoleh berdasarkan **Tabel 2.** dibawah ini.

Tabel 2. *Bucket fill factor excavator*

Kondisi Operasi/ Penggalan	Bucket Factor (%)
Mudah Tanah <i>clay</i> , agak lunak	110 – 120
Sedang Tanah asli kering, berpasir	100 – 110
Agak sulit Tanah asli berpasir dan berkerikil	80 – 90
Sulit Tanah keras bekas ledakan	70 – 80

1(2.1)

4. Volume dan Density

Density adalah berat persatuan volume suatu material. Density tergantung pada ukuran partikel, kadar air dan variasi materialnya. Semakin padat material semakin berat. Density dapat dihitung dengan persamaan (*Caterpillar Performance Handbook, 2000*):

$$Density(m^3) = \frac{Tonage(ton)}{Volume(m^3)}$$

$$Tonage(ton) = Volume(m^3) \times Density(m^3)$$

2.5 Waktu Edar (Cycle Time) dan Produktivitas Alat Gali-Muat (Excavator)

Waktu edar adalah waktu yang diperlukan alat berat untuk menyelesaikan suatu proses gerakan mulai dari gerakan awal hingga akhir dan kembali kesemula atau awal.

a. Waktu edar alat gali-muat (excavator)

Berikut ini cara untuk menghitung waktu edar yang dibutuhkan oleh alat gali-muat (*excavator*) (Komatsu, 2019):

$$Cms = t_1 + t_2 + t_3 + t_4$$

Dimana:

- Cms = Cycle time (detik)
- t₁ = Waktu gali untuk memuat (detik)
- t₂ = Waktu ayun untuk memuat (detik)
- t₃ = Waktu menumpahkan muatan (detik)
- t₄ = Waktu ayun kosong (detik)

b. Produktivitas Alat Gali-Muat (Excavator)

Produktivitas merupakan kemampuan suatu alat gali-muat maupun alat angkut untuk memberikan ataupun mengangkut material *overburden* dan bahan galian dalam satuan waktu dan perunit. Produktivitas alat gali-muat dapat dihitung dengan menggunakan persamaan berikut (Komatsu, 2019):

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

Dimana:

- Q = Produktivitas perjam (m³/jam)
- q = Produktivitas persiklus (m³)
- Cm = Cycle time (detik)
- E = Efisiensi kerja

Dimana nilai q dapat dihitung dengan menggunakan persamaan berikut (Komatsu, 2019):

$$q = q_1 \times K$$

Dimana:

- q₁ = Kapasitas bucket (m³)
- K = Bucket fill factor

2.6 Waktu Pengangkutan (Hauling Time)

Truk dapat melewati tanjakan dengan baik apabila *Rimpull* yang tersedia pada truk sama atau lebih besar dari pada *rimpull* yang dibutuhkan untuk mengatasi *rolling resistance* (RR), *grade* (kemiringan), dan

percepatan. Besar kecilnya *rimpull* tergantung pada kecepatan atau *gear* yang dipakai.

1. Grade Resistance (GR)

Grade Resistance merupakan besarnya gaya berat untuk membantu gerak kendaraan karena kemiringan jalan.

Tahanan kemiringan tergantung pada dua faktor yaitu:

- a. Besarnya kemiringan (dinyatakan dalam %)
- b. Berat kendaraan itu sendiri (dinyatakan dalam us-ton)

Kemiringan (*grade*) dapat dihitung dengan persamaan (Bargawa, 2018):

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

Dimana:

- Δh = Beda tinggi antara 2 titik yang diukur (m atau ft)
- Δx = Jarak *horizontal* dari 2 titik yang diukur (m atau ft)

Besarnya *grade resistance* adalah 20 lb/ton/%, artinya setiap persen tanjakan diperluakn *rimpull* sebesar 20 lb setiap berat kendaraan. Tahanan kemiringan (*grade resistance*) dicari dengan persamaan 2.11 (*Caterpillar Performance Handbook, 2000*):

$$GR (lbs) = Grade (\%) \times Berat \text{ Kendaraan} \times 20 \text{ lb/ton}$$

2. Rolling Resistance (RR)

Rolling Resistance (RR) adalah gaya yang harus diatasi untuk menggelindingkan atau menarik roda di atas tanah. Hal itu dipengaruhi oleh kondisi tanah, semakin dalam sebuah roda tenggelam ke dalam tanah, semakin tinggi rolling resistance. Dengan demikian rolling resistance dapat dihitung menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$RR = C_{RR} \times 20 \text{ lb/ton}$$

Dimana:

- RR = Tahanan Guling (lb/ton)
- C_{RR} = Koefisien Tahanan

Tabel 3. Angka tahanan guling yang dinyatakan dalam %

Jenis Permukaan Jalan	RR % (berat kendaraan dalam lb)	
	Roda karet	Crawler
Beton yang kasar dan kering	2%	-
Perkerasan tanah dn batu yang terpelihara baik	2%	-
Anah urug kering dengan pemadatan sederhana	3%	-
Tanah urug lunak dengan penetrasi sekitar 4"	8%	-
Tanah/ pasir lepas dan batu pecah	10%	4%
Jalan makadam	3%	5%
Perkerasan kayu	3%	3%
Jalan datar tanpa perkerasan, kering	5%	4%
Kerikil tidak dipadatkan	15%	12%
Pasir tidak dipadatkan	15%	12%
Tanah lumpur	-	16%

(Sumber: *Caterpillar Performance Handbook, 2000*)

3. Total Resistance (TR)

Total resistance (TR) yaitu jumlah dari *rolling resistance* (RR) dan *Grade resistance* (GR), dapat dihitung dengan menggunakan persamaan (Rostiyanti, 2008):

$$TR = RR \pm GR$$

- TR = Total resistance (lb/ton)
 RR = Rolling resistance (lb/ton)
 GR = Grade Resistance (lb/ton)

4. Rimpull

Rimpull adalah suatu gaya Tarik maksimum yang dapat disediakan oleh mesin. Rimpull ini suatu istilah yang hanya diterapkan pada alat-alat mekanis yang beroda ban (*rubber tired equipment*). Besar kecilnya rimpull bergantung pada kecepatan atau “gear” yang dipakai.

Apabila pada spesifikasi mesin, belum tersedia daftar “rimpull” pada setiap gear, maka rimpull dapat dihitung dengan persamaan (Indonesianto, 2013):

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

Dimana:

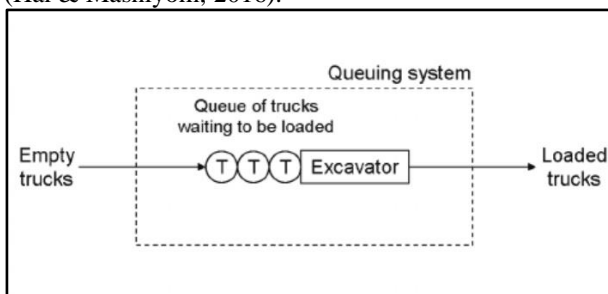
- RP = Rimpull (lb)
 HP = Horse Power
 V = Kecepatan (mph)

Waktu yang diperlukan untuk mengangkut muatan dan kembali dalam keadaan kosong, dapat dihitung dengan membagi jalan angkut menjadi beberapa bagian sesuai dengan *rolling resistance* dan *grade resistance*. Jika setiap jarak bagian dibagi dengan kecepatan rata-rata, waktu angkut masing-masing bagian dapat diperkirakan. Menentukan waktu pengangkutan dapat menggunakan persamaan (Komatsu, 2019).

$$\text{Waktu pengangkutan (menit)} = \frac{\text{Jarak Segment/Section (m)}}{\text{Kecepatan (m/menit)}}$$

2.7 Teori Antrian

Dalam operasi penambangan, model antrian biasanya diamati selama siklus pengangkutan truk dari posisi pemuatan, di mana truk tiba di shovel, menunggu giliran mereka dalam antrian jika ada truk apapun dimuat, ke situs pembuangan dan kemudian memulai yang baru lingkaran. **Gambar 3** menggambarkan penambangan dasar sistem antrian dengan truk angkut adalah pelanggan mengantri di baris dan dimuat oleh server adalah shovel (Hai & Masniyom, 2016).



Gambar 1. Sistem Antrian Truk dan Excavator (Hai dan Masniyom, 2016)

1. Probabilitas Keadaan Antrian

Dengan metode antrian yang kemudian dilakukan perhitungan pada tahapan yang akan terjadi antrian,

kemudian 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. Sehingga kemungkinan banyaknya keadaan antrian dapat dihitung dengan menggunakan persamaan (Ercelebi, dkk., 2009):

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

Dimana:

- M = Tahap antrian
 N = Jumlah alat angkut

Selanjutnya probabilitas keadaan antrian putaran untuk 4 (empat) tahap dapat dihitung dengan persamaan (Ercelebi, dkk., 2009):

$$P(n_1, n_2, n_3, n_4) = \frac{\mu_1^{N-1}}{n_2! \mu_2^{n_2} \mu_3^{n_3} n_4! \mu_4^{n_4}} (N, 0, 0, 0)$$

Dimana:

- μ = Tingkat pelayanan rata-rata dalam satu sistem (unit/menit)
 N = Jumlah alat angkut (unit)
 M = Tahap-tahap dalam antrian
 n = Jumlah alat angkut dalam sistem (unit/menit)

2. Rata-Rata Waktu Tunggu Alat Angkut Dalam Antrian

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

- a. Tahap 1. Tingkat penggunaan tahap 1, diperoleh pada kondisi $n_1 \geq 1$, yaitu keadaan dimana ada alat angkut yang datang ke tahap 1 yang dihitung dengan menggunakan persamaan (Ercelebi, dkk., 2009):

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

Dimana:

- η_1 = Tingkat penggunaan tahap 1

- b. Tahap 3. Tingkat penggunaan tahap 3, diperoleh pada kondisi $n_3 \geq 1$, dihitung dengan menggunakan persamaan (Ercelebi, dkk., 2009):

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

Dimana:

- η_3 = Tingkat penggunaan tahap 3

3. Rata-Rata Jumlah Alat Angkut Menunggu Dalam Antrian

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

- a. Tahap 1 (*loading*). Alat angkut yang mengantri atau menunggu saat dimuati alat gali-muat dengan menggunakan ketentuan $n_1 \geq 2$, sehingga rata-rata alat angkut yang menunggu untuk dimuati ditentukan dengan persamaan (Ercelebi, dkk., 2009):

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

Dimana:

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

Jumlah alat angkut yang dapat terlayani pada tahap 1 menggunakan persamaan (Ercelebi, dkk., 2009):

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

Dimana:

- ϕ_1 = Jumlah alat angkut yang dapat terlayani pada tahap 1
- η_1 = Tingkat penggunaan tahap 1
- μ_1 = Tingkat pelayanan tahap 1

W_{q1} adalah waktu tunggu alat angkut pada saat pengisian material *overburden* di *pit loading*. Rata-rata waktu tunggu alat angkut dalam antrian pada alat gali-muat (tahap 1) dihitung menggunakan persamaan (Ercelebi, dkk., 2009):

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

Dimana:

- W_{q1} = Waktu tunggu alat angkut pada tahap 1
- L_{q1} = Jumlah alat angkut yang antri di tahap 1
- ϕ_1 = Jumlah alat angkut yang dapat terlayani pada tahap 1

b. Tahap 3 (*dumping*). Alat angkut yang mengantri atau menunggu saat menumpahkan muatan ke *disposal* dengan ketentuan $n_3 \geq 2$, sehingga rata-rata alat angkut yang menunggu untuk menumpahkan muatan ditentukan dengan persamaan (Ercelebi, dkk., 2009):

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

Dimana:

- L_{q3} = Tingkat penggunaan tahap 1
- Jumlah alat angkut yang dapat terlayani pada tahap 3 adalah:

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

Dimana:

- ϕ_3 = Jumlah alat angkut yang dapat terlayani pada tahap 3
- η_3 = Tingkat penggunaan tahap 3
- μ_3 = Tingkat pelayanan tahap 3

Rata - rata waktu tunggu alat angkut dalam antrian pada *dumping area/disposal* (tahap 3) menggunakan persamaan (Ercelebi, dkk., 2009):

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

Dimana:

- W_{q3} = Waktu tunggu alat angkut pada tahap 3
- L_{q3} = Jumlah alat angkut yang antri di tahap 3
- ϕ_3 = Jumlah alat angkut yang dapat terlayani pada tahap 3

4. Waktu Edar (*Cycle Time*) Alat Angkut

Berdasarkan penerapan metode antrian maka total waktu edar (*cycle time*) alat angkut ditentukan menggunakan persamaan (Ercelebi, dkk., 2009):

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

Dimana:

- W_q = Waktu tunggu alat angkut
- μ = Tingkat pelayanan alat angkut

2.8 Produktivitas Alat Angkut

Produktivitas merupakan kemampuan suatu alat gali-muat maupun alat angkut untuk memberaikan ataupun mengangkut material *overburden* dan bahan galian dalam satuan waktu dan perunit. Produktivitas alat angkut dapat dihitung dengan menggunakan persamaan berikut (Komatsu, 2019):

$$P = C \times \frac{60}{Cmt} \times E_t \times M$$

Dimana:

- P = Produktivitas perjam (ton/jam)
- C = Produktivitas persiklus (ton)
- E_t = Efisiensi kerja *dump truck*
- M = Jumlah *dump truck* dalam satu operasi
- Cmt = *Cycle time*

Dimana nilai C dapat dihitung dengan menggunakan persamaan berikut (Komatsu, 2019):

$$C = n \times q_1 \times K$$

Dimana:

- n = Jumlah siklus yang diperlukan *excavator* mengisi *dump truck*
- q_1 = Kapasitas *bucket* (ton)
- K = *Bucket fill factor*(%)

2.9 Kebutuhan Peralatan Mekanis

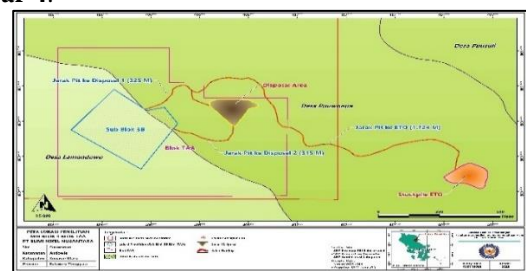
Kebutuhan alat berdasarkan target produksi dapat dirumuskan sebagai berikut (Indonesianto, 2013):

$$\text{Jumlah alat} = \frac{\text{Target produksi/hari}}{\text{Produktivitas alat/hari}}$$

3. METODE PENELITIAN

3.1 Lokasi dan Waktu Penelitian

Penelitian telah berjalan dalam kurun waktu ± 1 bulan. Lokasi penelitian berada pada wilayah administratif Desa Puuwonua, Kecamatan Andowia, Kabupaten Konawe Utara, Provinsi Sulawesi Tenggara. Lokasi penelitian berfokus pada Sub Blok 3B Blok TAA PT. Bumi Nikel Nusantara. Lokasi ini dapat ditempuh dengan sarana transportasi yang ada yakni dengan lewat jalur darat dengan menggunakan roda dua atau roda empat dari pusat Kota Kendari (Ibukota Provinsi Sulawesi Tenggara) menuju Kecamatan Andowia melalui jalan poros lintas Sulawesi dengan waktu tempuh perjalanan ± 4 jam. Adapun peta lokasi penelitian dapat dilihat pada Gambar 4.



Gambar 4. Peta Lokasi Penelitian

3.1 Jenis Penelitian

Secara umum penelitian mengenai rencana kebutuhan alat penambangan menggunakan metode atau jenis penelitian kuantitatif. Dimana jenis penelitian kuantitatif yaitu penelitian yang menggunakan format terstruktur dengan pengumpulan data berdasarkan pengamatan secara langsung, sehingga didapat pendekatan penyelesaian masalah.

3.2 Bahan dan Materi Penelitian

Bahan atau materi penelitian yang digunakan berupa data primer dan data sekunder.

1. Data Primer

Data primer merupakan data yang diperoleh secara langsung dilapangan. Data primer pada penlitian ini berupa:

- Waktu edar (*cycle time*) alat gali-muat
- Waktu alat angkut menumpahkan muatan
- Elevasi, jarak dan jenis tutupan jalan setiap segmen jalan angkut

2. Data Sekunder

Data sekunder dikumpulkan berdasarkan literature dan berbagai referensi seperti dari internet dan dari perusahaan PT. Bumi Nikel Nusantara. Data sekunder dari penelitian ini berupa:

- Lokasi Blok
- Data *density* material *overburden* dan *ore*
- Data volume *overburden* dan *ore*
- Kelender kerja Perusahaan
- Spesifikasi peralatan mekanis
- Nilai *Bucket fill factor*
- Nilai *Swell factor*
- Target produksi bijih nikel

3.3 Instrumen Penelitian

Instrumen atau peralatan yang akan digunakan dalam penelitian ini dapat dilihat pada **Tabel 4**.

Tabel 4. Instrumen studi yang digunakan dalam penelitian

No	Instrumen penelitian	Kegunaan
1	ATK	Untuk mencatat data-data pada saat penelitian
2	Kamera	Untuk dokumentasi kegiatan di lapangan
3	Stopwatch	Untuk mengambil <i>cycle time</i>
4	GPS	Untuk mengambil koordinat lokasi <i>pit</i> , <i>ETO(Exportble Transit Ore)</i> , <i>disposal</i> & elevasi jarak jalan angkut
5	Software Arcgis	Untuk membuat peta penelitian
6	Software Microsoft Office	Sebagai media untuk membuat database dan laporan
7	Laptop	Untuk pengolahan data dan membuat laporan

3.4 Prosedur Penelitian

Dalam pelaksanaan penelitian ini terdapat langkah-langkah atau tahapan penelitian. Berikut adalah tahapan kegiatan penelitian yang dimaksud:

1. Perizinan

Tahapan perizinan, yaitu pembuatan surat izin penelitian oleh pihak Jurusan Teknik Pertambangan untuk nantinya diserahkan kepada pihak perusahaan lokasi daerah penelitian.

2. Studi literatur

Studi literatur merupakan bagian dari kegiatan penelitian yang bertujuan untuk mengumpulkan, mempelajari dan membaca berbagai sumber pustaka yang berkaitan dengan perencanaan kebutuhan alat gali-muat dan alat angkut pada kegiatan penambangan.

3. Pengamatan lapangan

Pada tahap ini yang peneliti lakukan adalah mengamati kondisi *pit* yang akan dibuka serta mengamati

pit yang sementara beroperasi untuk nantinya dilakukan pengambilan data dan dokumentasi penelitian.

4. Pengambilan dan Pengumpulan data

Pengambilan data yang peneliti lakukan adalah pengambilan data sekunder diberikan langsung oleh perusahaan yang berupa lokasi *blok*, data *density* dan data volume material *overburden* dan bijih nikel, kelender hari kerja perusahaan, spesifikasi peralatan mekanis, *bucket fill factor*, *swell factor*, target produksi bijih nikel. Selanjutnya pengambilan data primer yang dilakukan di *pit* yang telah beroperasi data primer ini berupa waktu edar (*cycle time*) alat gali-muat, waktu alat angkut menumpahkan muatan, elevasi, jarak dan jenis tutupan jalan angkut.

3.5 Pengolahan data

Data-data yang telah dikumpulkan selanjutnya digunakan untuk pengolahan dan analisis data guna mendapatkan hasil sesuai dengan tujuan penelitian yang telah ditetapkan.

Tahapan pengolahan data yang dilakukan adalah sebagai berikut:

- Memilih *Type* Alat Gali-Muat Dan Alat Angkut
- Pembuatan Profil Jalan Angkut
- Menghitung *Grade Resistance*
- Menghitung *Rolling Resistance*
- Menghitung Target Produksi Perjam
- Menghitung Waktu Edar (*Cycle Time*) Alat Gali Muat

3.6 Analisis Data

Dari hasil pengolahan data, maka analisis data yang dilakukan adalah sebagai berikut.

- Menganalisis Produktivitas Alat Gali-muat
- Analisis Waktu Pengangkutan
- Analisis Waktu Antrian Alat Angkut
- Menganalisis Waktu Edar (*Cycle Time*) Alat Angkut
- Menganalisis Produktivitas Alat Angkut
- Menganalisis Jumlah Alat Gali-muat dan Alat Angkut

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Endapan Bijih Nikel Laterit

Wilayah IUP PT. Bumi Nikel Nusantara terbagi menjadi 4 blok. Setiap blok memiliki topografi yang relatif sama yaitu pegunungan yang bergelombang yang menggambarkan proses pembentukan nikel laterit. Endapan nikel laterit padal sub blok 3B blok TAA(Tirto Alam Anugrah) memiliki ketebalan pada punggung bukit. Ketinggian topografi pada sub blok 3B berkisar 333 – 358 meter di atas permukaan laut.

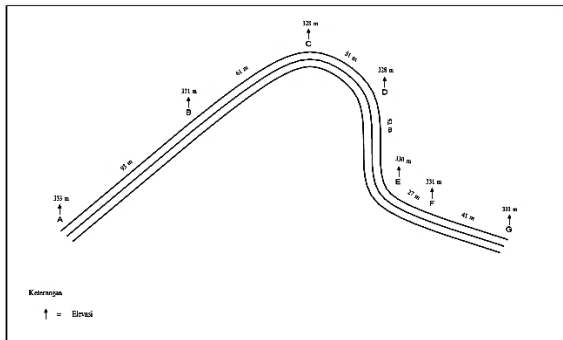
4.2 Pengupasan *Overburden*

Jalan *hauling* PT. Bumi Nikel Nusantara dari *pit* ke *disposal* terbagi menjadi dua jalan *hauling* yaitu jalan *hauling* yang berada tepat didepan *pit* atau jalan *hauling* 1 dan jalan *hauling* yang berada disebelah kanan *pit* atau jalan *hauling* 2

1. Waktu *Hauling* Bermuatan (*Jalan Hauling*)

1)

Jalang *hauling* yang pertama yang berada tepat didepan *pit* memiliki jarak 325 meter dengan ketinggian maksimal sebesar 333 meter di atas permukaan laut dan ketinggian terendah yaitu 328 meter di atas permukaan laut. Dimana jalan tersebut terbagi menjadi 6 segmen, adapun gambar profil jalan *hauling* 1 dari *pit* ke *disposal* dapat dilihat pada Gambar 5.



Gambar 5. Profil Jalan Hauling 1 dari Pit ke Disposal (Nindy,2023)

a. **Rolling resistance (RR), grade resistance (GR) dan total resistance (TR)**

Perhitungan *rimpull* ini dilakukan pada saat terjadi perubahan segmen jalan. Perubahan segmen jalan dihitung dan dibagi berdasarkan kondisi jalan yang datar, pendakian, dan penurunan. Hasil perhitungan *rolling resistance* (RR), *grade resistance* (GR) dan *total resistance* (TR) dapat dilihat pada Tabel 5.

Tabel 5. Perhitungan *rolling resistance* (RR), *grade resistance* (GR) dan *total resistance* (TR)

Segmen	Rimpull untuk mengatasi GR (lb/ton)	Rimpull untuk mengatasi RR (lb/ton)	Total Rimpull Yang Dibutuhkan (lb/ton)
A-B	1.027,43	4.367,29	5.394,72
B-C	2.598,25	4.367,29	6.965,54
C-D	128,45	4.367,29	4.495,74
D-E	2.259,06	4.367,29	6.626,35
E-F	1.638,47	4.367,29	6.005,76
F-G	932,18	4.367,29	5.299,47

(Sumber: Nindy,2023)

b. **Rimpull**

Hasil perhitungan *rimpull* dan kecepatan alat angkut dapat dilihat pada Tabel 6.

Tabel 6. Rimpull dan kecepatan yang tersedia

Gear	Rimpull Tersedia (lb)	Efisiensi Mekanis (%)	HP	Kecepatan (mph)
1	9.648	85	260	8,59
2	6.935	85	260	11,95
3	5.020	85	260	16,51
4	3.636	85	260	22,79
5	2.653	85	260	31,24
6	1.923	85	260	43,10
7	1.380	85	260	60,05
8	1.000	85	260	82,88

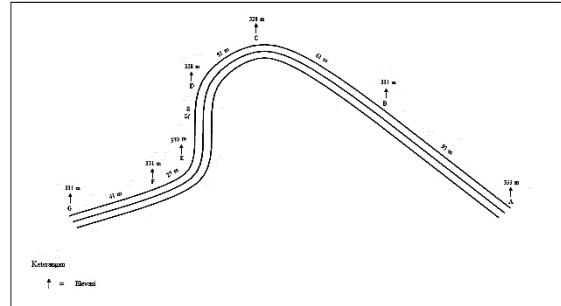
(Sumber: Spesifikasi Alat)

Berdasarkan Analisis *rimpull* dan kecepatan waktu *hauling* bermuatan, dapat diketahui setelah diperoleh kecepatan dari *rimpull* dan jarak dari tiap segmen. Waktu *hauling* bermuatan yang dibutuhkan alat angkut untuk sampai ke *disposal* dengan jarak angkut 25 meter adalah

1,0426 menit.

2. **Waktu Hauling kosong (Jalan Hauling 1)**

Gambar profil jalan *hauling* 1 dari *disposal* ke *pit* dapat dilihat pada Gambar 6.



Gambar 6. Profil Jalan Hauling 1 dari Disposal ke Pit (Nindy,2023)

a. **Rolling resistance (RR), grade resistance (GR) dan total resistance (TR)**

Hasil perhitungan *rolling resistance* (RR), *grade resistance* (GR) dan *total resistance* (TR) dapat dilihat pada Tabel 7.

Tabel 7. Perhitungan *rolling resistance* (RR), *grade resistance* (GR) dan *total resistance* (TR)

Segmen	Rimpull untuk mengatasi GR (lb/ton)	Rimpull untuk mengatasi RR (lb/ton)	Total Rimpull Yang Dibutuhkan
G - F	282,14	1.321,82	1.603,96
F - E	495,91	1.321,82	1.817,72
E - D	683,74	1.321,82	2.005,56
D - C	38,88	1.321,82	1.360,70
C - B	786,40	1.321,82	2.108,22
B - A	310,97	1.321,82	1.632,79

(Sumber: Nindy,2023)

b. **Rimpull**

Hasil perhitungan *rimpull* dan kecepatan alat angkut dapat dilihat pada Tabel 8.

Tabel 8. Rimpull dan kecepatan yang tersedia

Gear	Rimpull Tersedia (lb)	Efisiensi Mekanis (%)	HP	Kecepatan (mph)
1	9.648	85	260	8,59
2	6.935	85	260	11,95
3	5.020	85	260	16,51
4	3.636	85	260	22,79
5	2.653	85	260	31,24
6	1.923	85	260	43,10
7	1.380	85	260	60,05
8	1.000	85	260	82,88

(Sumber: Spesifikasi Alat)

Berdasarkan Analisis *rimpull* dan kecepatan waktu *hauling* kosong yang dibutuhkan alat angkut untuk sampai kembali ke *pit* dengan jarak angkut 325 meter adalah 0,8265 menit.

3. **Analisis Teori Antrian Pengupasan Overburden Melalui Jalan Hauling 1**

a. **Waktu Pelayanan**

Hasil perhitungan tingkat pelayanan *dump truck* dapat dilihat pada Tabel 9.

Tabel 9. Tingkat Pelayanan

No	Waktu Pelayana (μ_s)	Tingkat Pelayanan ($1/\mu_s$)
1	2,108 menit	0,474 menit

2	1,043 menit	0,959 menit
3	0,527 menit	1,899 menit
4	0,827 menit	1,210 menit

(Sumber: Nindy,2023)

b. Probabilitas Keadaan Antrian

Untuk jumlah keadaan antrian dimana alat gali muat melayani alat angkut sebanyak 2 unit yaitu sebanyak 10 kemungkinan, yang artinya ada 10 bentuk atau cara keadaan sistem alat angkut pada saat mengantri.

c. Tingkat penggunaan dump truck dan jumlah dump truck pada tahap 1 dan tahap 3

Hasil perhitungan tingkat penggunaan *dump truck* (η_n) dan jumlah *dump truck* yang terlayani ($\eta_1\mu_1$) pada tahap 1 dan tahap 3 dapat dilihat pada **Tabel 10**.

Tabel 10. Hasil perhitungan η_n dan $\eta_1\mu_1$

Tahap 1		Tahap 3	
η_1	(unit/menit)	η_3	(unit/menit)
0,7593	0,3602	0,1899	1,8967

(Sumber: Nindy,2023)

d. Jumlah dump truck yang antri dan waktu tunggu pada tahap 1 dan 3

Jumlah *dump truck* yang antri (L_{qn}) dan waktu tunggu (W_{qn}) pada tahap 1 dan tahap 3 dapat dilihat pada **Tabel 11**.

Tabel 11. Hasil perhitungan L_{qn} dan W_{qn}

Tahap 1		Tahap 3	
L_{q1} (unit)	W_{q1} (menit)	L_{q3} (unit)	W_{q3} (menit)
0,3554	0,9867	0,0222	0,0117

(Sumber: Nindy,2023)

4. Analisis Waktu Edar Dump Truck Melalui Jalan Hauling 1

Hasil perhitungan waktu edar *dump truck* dapat dilihat pada **Tabel 12**.

Tabel 12. Waktu edar berdasarkan teori antrian

μ_n	Tingkat Pelayanan (μ_n)	$1/\mu_n$ (menit)	W_{q1} (menit)	W_{q3} (menit)	CT (Menit)
μ_1	0,4743	2,1082			
μ_2	0,9591	1,0426	0,987	0,012	5,503
μ_3	1,8967	0,5272			
μ_4	1,2099	0,8265			

(Sumber: Nindy,2023)

5. Produktivitas Alat Angkut Melalui Jalan Hauling 1

Hasil perhitungan produktivitas alat angkut dapat dilihat pada **Tabel 13**.

Tabel 13. Produktivitas alat angkut

Loading Point	Alat Gali Muat (unit)	Jumlah Alat Angkut (unit)	Produktifitas Alat (ton/jam)	Produktifitas Alat (ton/bulan)	Total Produksi (ton/bulan)
1	1	2	176,16	40.869,73	81.739,47
Jumlah alat		2	Jumlah (tonase)		81.739,47

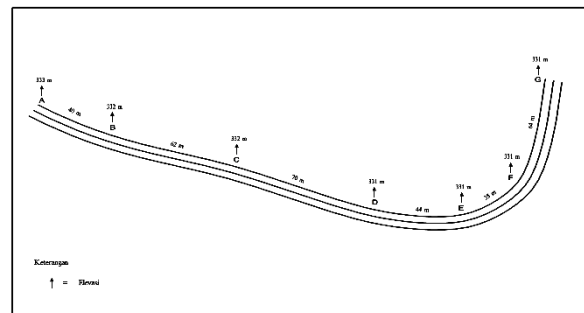
(Sumber: Nindy,2023)

Dapat diketahui bahwa dalam pemuatan *overburden* menggunakan 1 *loading point* yang melalui jalan

hauling 1 belum mencapai target produksi sehingga dilanjutkan dengan analisis yang melalui jalan *hauling* 2.

6. Waktu Hauling Bermuatan (Jalan Hauling 2)

Jalan *hauling* yang kedua yang berada tepat disamping kanan *pit* memiliki jarak 315 meter dengan ketinggian maksimal sebesar 333 meter di atas permukaan laut dan ketinggian terendah yaitu 331 meter di atas permukaan laut. Dimana jalan tersebut terbagi menjadi 6 segmen, adapun gambar profil jalan *hauling* 2 dari *pit* ke *disposal* dapat dilihat pada **Gambar 7**.



Gambar 7. Profil Jalan Hauling 2 dari Pit ke Disposal (Nindy,2023)

a. Rolling resistance (RR), grade resistance (GR) dan total resistance (TR)

Hasil perhitungan *rolling resistance* (RR), *grade resistance* (GR) dan *total resistance* (TR) dapat dilihat pada **Tabel 14**.

Tabel 14. Perhitungan *rolling resistance* (RR), *grade resistance* (GR) dan *total resistance* (TR)

Segmen	Rimpull untuk mengatasi GR (lb/ton)	Rimpull untuk mengatasi RR (lb/ton)	Total Rimpull Yang Dibutuhkan (lb/ton)
A-B	846,26	4.367,29	5.213,55
B-C	334,60	4.367,29	4.701,89
C-D	382,15	4.367,29	4.749,44
D-E	12,41	4.367,29	4.379,70
E-F	31,19	4.367,29	4.398,48
F-G	315,61	4.367,29	4.682,90

(Sumber: Nindy,2023)

b. Rimpull

Hasil perhitungan *rimpull* dan kecepatan alat angkut dapat dilihat pada **Tabel 15**.

Tabel 15. Rimpull dan kecepatan yang tersedia

Gear	Rimpull Tersedia (lb)	Efisiensi Mekanis (%)	HP	Kecepatan (mph)
1	9.648	85	260	8,59
2	6.935	85	260	11,95
3	5.020	85	260	16,51
4	3.636	85	260	22,79
5	2.653	85	260	31,24
6	1.923	85	260	43,10
7	1.380	85	260	60,05
8	1.000	85	260	82,88

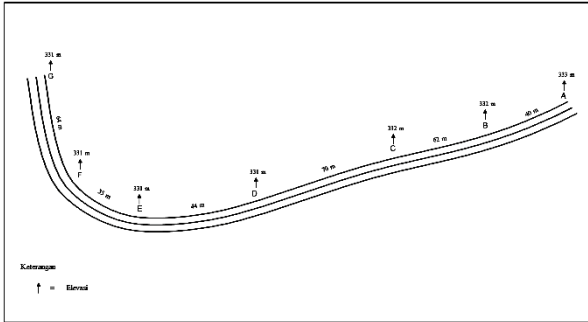
(Sumber: Spesifikasi Alat)

Berdasarkan Analisis *rimpull* dan kecepatan waktu *hauling* bermuatan yang dibutuhkan alat angkut untuk

sampai ke *disposal* dengan jarak angkut 315 meter adalah 0,9648 menit.

7. Waktu Hauling Kosong (Jalan Hauling 2)

Profil jalan *hauling* 2 dari *disposal* ke *pit* dapat dilihat pada gambar **Gambar 8**.



Gambar 8. Profil Jalan *Hauling* 2 dari *Disposal* ke *Pit* (Nindy,2023)

a. Rolling resistance (RR), grade resistance (GR) dan total resistance (TR)

Hasil perhitungan *rolling resistance* (RR), *grade resistance* (GR) dan *total resistance* (TR) dapat dilihat pada **Tabel 16**.

Tabel 16. Perhitungan *rolling resistance* (RR), *grade resistance* (GR) dan *total resistance* (TR)

Segmen	Rimpull untuk mengatasi GR (lb/ton)	Rimpull untuk mengatasi RR (lb/ton)	Total Rimpull Yang Dibutuhkan
G - F	95,52	1.321,82	1.417,34
F - E	9,44	1.321,82	1.331,26
E - D	3,76	1.321,82	1.325,57
D - C	115,66	1.321,82	1.437,48
C - B	101,27	1.321,82	1.423,09
B - A	256,13	1.321,82	1.577,95

(Sumber: Nindy,2023)

b. Rimpull

Hasil perhitungan *rimpull* dan kecepatan alat angkut dapat dilihat pada **Tabel 17**.

Tabel 17. Rimpull dan kecepatan yang tersedia

Gear	Rimpull Tersedia (lb)	Efisiensi Mekanis (%)	Hp	Kecepatan (mph)
1	9.648	85	260	8,59
2	6.935	85	260	11,95
3	5.020	85	260	16,51
4	3.636	85	260	22,79
5	2.653	85	260	31,24
6	1.923	85	260	43,10
7	1.380	85	260	60,05
8	1.000	85	260	82,88

(Sumber: Spesifikasi Alat)

Berdasarkan Analisis *rimpull* dan kecepatan waktu *hauling* kosong yang dibutuhkan alat angkut untuk sampai kembali ke *pit* dengan jarak angkut 315 meter adalah 0,7708 menit.

8. Analisis Teori Antrian Pengupasan Overburden Melalui Jalan Hauling 2

a. Waktu Pelayanan

Hasil perhitungan tingkat pelayanan *dump truck* dapat dilihat pada **Tabel 18**.

Tabel 18. Tingkat Pelayanan

No	Waktu Pelayanan (μ_n)	Tingkat Pelayanan ($1/\mu_n$)
1	2,108 menit	0,474 menit
2	0,965 menit	1,037 menit
3	0,527 menit	1,897 menit
4	0,771 menit	1,297 menit

(Sumber: Nindy,2023)

b. Probabilitas Keadaan Antrian

Untuk jumlah keadaan antrian dimana alat gali muat melayani alat angkut sebanyak 2 unit yaitu sebanyak 10 kemungkinan, yang artinya ada 10 bentuk atau cara keadaan sistem alat angkut pada saat mengantri.

c. Tingkat penggunaan *dump truck* dan jumlah *dump truck* pada tahap 1 dan tahap 3

Hasil perhitungan tingkat penggunaan *dump truck* (η_n) dan jumlah *dump truck* yang terlayani ($\eta_1\mu_1$) pada tahap 1 dan tahap 3 dapat dilihat pada **Tabel 19**.

Tabel 19. Hasil perhitungan η_n dan $\eta_1\mu_1$

Tahap 1		Tahap 3	
η_1	(unit/menit)	η_3	(unit/menit)
0,7712	0,3658	0,1923	0,3648

(Sumber: Nindy,2023)

d. Jumlah *dump truck* yang antri dan waktu tunggu pada tahap 1 dan 3

Jumlah *dump truck* yang antri (L_{qn}) dan waktu tunggu (W_{qn}) pada tahap 1 dan tahap 3 dapat dilihat pada **Tabel 20**.

Tabel 20. Hasil perhitungan L_{qn} dan W_{qn}

Tahap 1		Tahap 3	
L_{q1} (unit)	W_{q1} (menit)	L_{q3} (unit)	W_{q3} (menit)
0,3701	1,0119	0,0230	0,0630

(Sumber: Nindy,2023)

9. Analisis Waktu Edar *Dump Truck* Melalui Jalan Hauling 2

Hasil perhitungan waktu edar *dump truck* dapat dilihat pada **Tabel 21**.

Tabel 21. Waktu edar berdasarkan teori antrian

μ_n	Tingkat Pelayanan (μ_n)	$1/\mu_n$ (menit)	W_{q1} (menit)	W_{q3} (menit)	CT (Menit)
μ_1	0,4743	2,1082			
μ_2	1,0365	0,9648	1,012	0,063	5,467
μ_3	1,8967	0,5272			
μ_4	1,2974	0,7708			

(Sumber: Nindy,2023)

10. Produktivitas Alat Angkut Melalui Jalan Hauling 2

Hasil perhitungan produktivitas alat angkut dapat dilihat pada **Tabel 22**.

Tabel 22. Produktivitas alat angkut

Loading Point	Alat Gali Muat (unit)	Jumlah Alat Angkut (unit)	Produktivitas Alat (ton/jam)	Produktivitas Alat (ton/bulan)	Total Produksi (ton/bulan)
1	1	2	177,31	41.136,80	82.273,61
Jumlah alat		2	Jumlah (tonase)		82.273,61

(Sumber: Nindy,2023)

Berdasarkan analisis menggunakan 2 jalan *hauling* target produksi pengupasan *overburden* tercapai.

Adapun jumlah alat gali muat dan angkut yang digunakan pada kegiatan pengupasan *overburden* dapat dilihat pada **Tabel 23**.

Tabel 23. Jumlah alat gali-muat dan alat angkut

No.	Alat Berat	Kegiatan	Jumlah (unit)
1	Komatsu PC300	Removal <i>Overburden</i>	2
2	Komatsu PC300	Loading <i>Overburden</i>	2
3	Hino FM 260 JD ID	Hauling <i>Overburden</i>	14

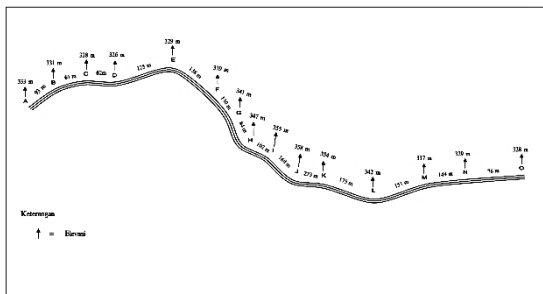
(Sumber: Nindy,2023)

4.3 Penambangan Bijih Nikel

1. Waktu *Hauling* Bermuatan

Pada kegiatan pengangkutan bijih nikel dari *pit* ke ETO (*Exportable Transit Ore*), alat angkut yang digunakan adalah *dump truck* Hino FM 260 JD ID dan alat yang digunakan untuk *loading* material adalah *excavator* Komatsu PC300.

Jalan angkut PT. Bumi Nikel Nusantara dari *pit* ke ETO (*Exportable Transit Ore*) memiliki jarak 1.724 meter dengan ketinggian maksimal sebesar 368 meter di atas permukaan laut dan ketinggian terendah yaitu 324 meter di atas permukaan laut. Dimana jalan tersebut terbagi menjadi 14 segmen adapun gambar profil jalan angkut dari *pit* ke ETO (*Exportable Transit Ore*) dapat dilihat pada **Gambar 9**.



Gambar 9. Profil Jalan dari *Pit* ke ETO(*Exportable Transite Ore*) (Nindy,2023)

a. *Rolling resistance* (RR), *grade resistance* (GR) dan *total resistance* (TR)

Hasil perhitungan *rolling resistance* (RR), *grade resistance* (GR) dan *total resistance* (TR) dapat dilihat pada **Tabel 24**.

Tabel 24. Perhitungan *rolling resistance* (RR), *grade resistance* (GR) dan *total resistance* (TR)

Segmen	Rimpull untuk mengatasi GR (lb/ton)	Rimpull untuk mengatasi RR (lb/ton)	Total Rimpull Yang Dibutuhkan (lb/ton)
A-B	1.005,04	4.272,12	5.277,16
B-C	2.541,63	4.272,12	6.813,75
C-D	1.300,97	4.272,12	5.573,09
D-E	1.217,87	4.272,12	5.489,99
E-F	3.743,40	4.272,12	8.015,52
F-G	825,77	4.272,12	5.097,89
G-H	3.804,94	4.272,12	8.077,06
H-I	4.222,43	4.272,12	8.494,55
I-J	1.178,46	4.272,12	5.450,58
J-K	1.339,05	4.272,12	5.611,17
K-L	3.295,79	4.272,12	7.567,91
L-M	1.762,15	4.272,12	6.034,26
M-N	3.042,13	4.272,12	7.314,25
N-O	576,21	4.272,12	4.848,33

(Sumber: Nindy,2023)

b. *Rimpull*

Hasil perhitungan *rimpull* dan kecepatan alat angkut dapat dilihat pada **Tabel 25**.

Tabel 25. *Rimpull* dan kecepatan yang tersedia

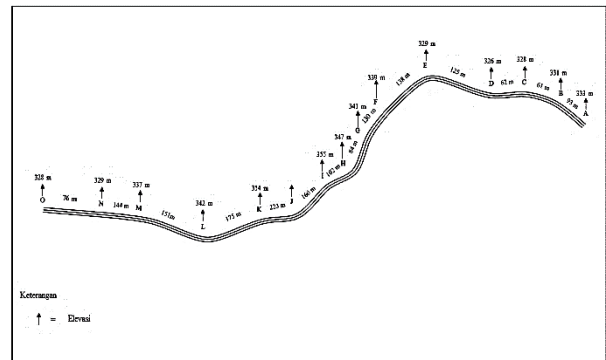
Gear	Rimpull Tersedia (lb)	Efisiensi Mekanis (%)	HP	Kecepatan (mph)
1	9.648	85	260	8,59
2	6.935	85	260	11,95
3	5.020	85	260	16,51
4	3.636	85	260	22,79
5	2.653	85	260	31,24
6	1.923	85	260	43,10
7	1.380	85	260	60,05
8	1.000	85	260	82,88

(Sumber: Spesifikasi Alat)

Berdasarkan Analisis *rimpull* dan kecepatan waktu *hauling* bermuatan yang dibutuhkan alat angkut untuk sampai ke ETO (*Exportable Transit Ore*) dengan jarak angkut 1.724 meter adalah 6,3601 menit.

2. Waktu *Hauling* Kosong

Profil jalan *hauling* dari ETO(*Exportable Transit Ore*) ke *pit* dapat dilihat pada gambar **Gambar 10**.



Gambar 10. Profil Jalan dari ETO(*Exportable Transite Ore*) ke *Pit* (Nindy,2023)

a. *Rolling resistance* (RR), *grade resistance* (GR) dan *total resistance* (TR)

Hasil perhitungan *rolling resistance* (RR), *grade resistance* (GR) dan *total resistance* (TR) dapat dilihat pada **Tabel 26**.

Tabel 26. Perhitungan *rolling resistance* (RR), *grade resistance* (GR) dan *total resistance* (TR)

Segmen	Rimpull untuk mengatasi GR (lb/ton)	Rimpull untuk mengatasi RR (lb/ton)	Total Rimpull Yang Dibutuhkan (lb/ton)
O-N	178,28	1.321,82	1.500,10
N-M	941,25	1.321,82	2.263,07
M-L	545,22	1.321,82	1.867,04
L-K	1.084,33	1.321,82	2.406,15
K-J	363,88	1.321,82	1.685,70
J-I	364,62	1.321,82	1.686,44
I-H	1.306,45	1.321,82	2.628,26
H-G	1.177,27	1.321,82	2.499,09
G-F	509,91	1.321,82	1.831,72
F-E	1.158,23	1.321,82	2.480,05
E-D	376,82	1.321,82	1.698,64
D-C	402,53	1.321,82	1.724,35
C-B	786,40	1.321,82	2.108,22
B-A	310,97	1.321,82	1.632,79

(Sumber: Nindy,2023)

b. Rimpull

Hasil perhitungan *rimpull* dan kecepatan alat angkut dapat dilihat pada **Tabel 27**.

Tabel 27. *Rimpull* dan kecepatan yang tersedia

Gear	Rimpull Tersedia (lb)	Efisiensi Mekanis (%)	Hp	Kecepatan (mph)
1	9.648	85	260	8,59
2	6.935	85	260	11,95
3	5.020	85	260	16,51
4	3.636	85	260	22,79
5	2.653	85	260	31,24
6	1.923	85	260	43,10
7	1.380	85	260	60,05
8	1.000	85	260	82,88

(Sumber: Spesifikasi Alat)

Berdasarkan Analisis *rimpull* dan kecepatan waktu *hauling* kosong yang dibutuhkan alat angkut untuk sampai kembali ke *pit* dengan jarak angkut 1.724 meter adalah 3,178 menit.

3. Analisis Teori Antrian Pengupasan Overburden Melalui Jalan Hauling 1

a. Waktu Pelayanan

Hasil perhitungan tingkat pelayanan *dump truck* dapat dilihat pada **Tabel 28**.

Tabel 28. Tingkat Pelayanan

No	Waktu Pelayanan (μ_n)	Tingkat Pelayanan ($1/\mu_n$)
1	2,108	0,4743
2	6,360	0,1572
3	0,527	1,8987
4	3,178	0,3147

(Sumber: Nindy,2023)

b. Probabilitas Keadaan Antrian

Untuk jumlah keadaan antrian dimana alat gali muat melayani alat angkut sebanyak 14 unit yaitu sebanyak 680 kemungkinan, yang artinya ada 680 bentuk atau cara keadaan sistem alat angkut pada saat mengantri.

c. Tingkat penggunaan *dump truck* dan jumlah *dump truck* pada tahap 1 dan tahap 3

Hasil perhitungan tingkat penggunaan *dump truck* (η_n) dan jumlah *dump truck* yang terlayani ($\eta_1\mu_1$) pada tahap 1 dan tahap 3 dapat dilihat pada **Tabel 29**.

Tabel 29. Hasil perhitungan η_n dan $\eta_1\mu_1$

Tahap 1		Tahap 3	
η^1	(unit/menit)	η^3	(unit/menit)
0,995	0,4741	0,2498	0,4743

(Sumber: Nindy,2023)

d. Jumlah *dump truck* yang antri dan waktu tunggu pada tahap 1 dan 3

Jumlah *dump truck* yang antri (L_{qn}) dan waktu tunggu (W_{qn}) pada tahap 1 dan tahap 3 dapat dilihat pada **Tabel 30**.

Tabel 30. Hasil perhitungan L_{qn} dan W_{qn}

Tahap 1		Tahap 3	
L_{q1} (unit)	W_{q1} (menit)	L_{q3} (unit)	W_{q3} (menit)
8,1458	17,1815	0,0832	0,1754

(Sumber: Nindy,2023)

4. Analisis Waktu Edar *Dump Truck*

Hasil perhitungan waktu edar *dump truck* dapat

dilihat pada **Tabel 31**.

Tabel 31. Waktu edar berdasarkan teori antrian

μ_n	Tingkat Pelayanan (μ_n)	$1/\mu_n$ (menit)	W_{q1} (menit)	W_{q3} (menit)	CT (Menit)
μ_1	0,4743	2,108			
μ_2	0,1572	6,360			
μ_3	1,8987	0,527	17,181	0,175	29,529
μ_4	0,3147	3,178			

(Sumber: Nindy,2023)

5. Produktivitas Alat Angkut

Hasil perhitungan produktivitas alat angkut dapat dilihat pada **Tabel 32**.

Tabel 32. Produktivitas alat angkut

Loading Point	Alat Gali Muat (unit)	Jumlah Alat Angkut (unit)	Produktivitas Alat (ton/jam)	Produktivitas Alat (ton/bulan)	Total Produksi (ton/bulan)
1	1	14	31,806	7.378,23	103.295,21
Jumlah alat		14	Jumlah (tonase)		103.295,21

(Sumber: Nindy,2023)

Berdasarkan tabel di atas dapat diketahui bahwa dalam pemuatan *ore* menggunakan 1 *loading point* dimana 1 alat gali muat melayani 14 unit *dump truck*. Dalam simulasi tersebut target penambangan bijih nikel tercapai.

Adapun jumlah alat gali muat dan angkut yang digunakan pada kegiatan pengupasan *overburden* dapat dilihat pada **Tabel 33**.

Tabel 33. Jumlah alat gali-muat dan alat angkut

No.	Alat Berat	Kegiatan	Jumlah (unit)
1	Sumitomo 210	Ore Getting	2
2	Komatsu PC300	Loading ore	1
3	Hino FM 260 JD ID	Hauling ore	14

(Sumber: Nindy,2023)

5. KESIMPULAN

Kesimpulan dari hasil penelitian ini adalah jumlah alat mekanis yang digunakan pada setiap kegiatan berbeda. Pada kegiatan *removal overburden* alat gali-muat yang digunakan adalah *excavator* Komatsu PC300 sebanyak 2 unit. Alat gali-muat *excavator* yang digunakan pada *removal overburden* berbeda dengan alat yang digunakan dalam kegiatan *ore getting*, untuk kegiatan *ore getting* menggunakan 2 unit *excavator* Sumitomo 210. Namun untuk *loading overburden* dan *loading ore* keduanya menggunakan *excavator* Komatsu PC300. Untuk kegiatan *loading overburden* menggunakan 2 unit *excavator* Komatsu PC300, sedangkan untuk *loading ore* hanya menggunakan 1 unit *excavator* Komatsu PC300. Dalam pemilihan alat angkut kedua material baik *overburden* maupun *ore*, keduanya menggunakan *Dump Truck* Hino FM 260 JD ID. Untuk pengangkutan *overburden* dari *pit* ke *disposal* menggunakan 4 unit *dump truck* dan untuk pengangkutan *ore* dari *pit* ke ETO (*Exportable Transit Ore*) menggunakan 14 unit *dump truck*.



UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada pihak PT. Bumi Nikel Nusantara yang telah bersedia menjadi lokasi penelitian penulis serta banyak membantu selama proses penelitian berlangsung dan terima kasih kepada seluruh pihak yang membantu selama proses penelitian hingga penyusunan hasil penelitian.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Arif, Irwandy. 2018. *Nikel Indonesia*. Jakarta: PT. Gramedia Pustaka Utama.
- [2] Arif, Irwandy. 2021. *Good Mining Practice di Indonesia*. Jakarta: PT. Gramedia Pustaka Utama.
- [3] Caterpillar. (2000). *Caterpillar Performance Handbook Edition 31* (Issue October).
- [4] Erecelebi, S.G., Bascetin, A. 2009. *Optimisation of Shovel-truck System For Surface Mining*. The Journal of the Southern Agrican Institute Of Mining and Metallurgy, Vol 109. Hal 433-439.
- [5] Franicha, F., Suatanto, H., dan Tiong, I., 2017, *Mining Equipment Analysis to Reach Target Production on Overburden in Kutai Kertanegara East Borneo*, *Journal Of Engineering Research And Application*, Vol. 1, No. 4, Hal: 36-44, ISSN: 2248-9622.
- [6] Hai, Dang Vu & Manoom Masniyon. (2016). *Application Of Queuing Theory In Analysing Shovel Truck Haulage System In Viet Nam Surface Mine*. *International Journal of Advances in Science Engineering and Technology*, Vol 4 No 2. ISSN: 2321-9009.
- [7] Indonesianto, Y. 2013. *Pemindahan Tanah Mekanis*. Yogyakarta: CV. Awan Poetih.
- [8] Komatsu. (2019). *Application Handbook Edition 32* (Issue October).
- [9] Pasch & Uludag. (2018). *Optimization Of The Load-And-Haul Operation at an Opencast Colliery*. *The Journal of the Southem African Institute of Mining and Metalurgy*, 118(May), 449–456. ISSN: 2411-9717.
- [10] Rostiyanti. (2008). *Alat Berat Untuk Proyek Konstruksi*. ISBN 978-979-518-850-6.
- [11] Tapia, E., Salazar Araya, A., Saavedra, N., Nehring, M., & Mora, J. (2021). *An Analysis of Full Truck Versus Full Bucket Strategies in Open Pit Mining Loading and Hauling Operations*. *International Journal of Mining, Reclamation and Environment*, 35(1), 1–11. ISSN: 1748-0930.
- [12] Varghese, A & Xavier, A. S. (2018). *Literature Review On Hauling Equipment Productivity Using Cycle Time Calculation*. *International Research Journal of Engineering and Technology (IRJET)*, 5, 467–471. e-ISSN: 2395-0056.