

# Analisis Skala Penambangan Mineral dan Pengangkutan (Studi Kasus : Angkutan Nikel di Sulawesi Tenggara)

Karina Novita Sari Setiawan, Tri Achmadi, dan Siti Dwi Lazuardi  
Departemen Teknik Transportasi Laut, Fakultas Teknologi Kelautan  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS)  
*e-mail*: dwilaz@seatrans.its.ac.id

**Abstrak**—Indonesia merupakan salah satu negara yang memiliki sumber daya alam yang melimpah, termasuk bahan tambang, salah satunya yakni nikel. Hasil olahan nikel yaitu feronikel, merupakan bahan baku pembuatan *stainless steel*, yakni pelapis besi anti karat. Sampai saat ini masih banyak ditemui berbagai permasalahan terkait pengiriman feronikel. Kurangnya perhatian terhadap hubungan antara kapasitas armada kapal dengan jumlah muatan hasil produksi tambang, khususnya feronikel menyebabkan biaya transportasi menjadi acak dan tidak ekonomis. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui perbandingan biaya dan keekonomisan antara moda transportasi laut yaitu *bulk carrier*, *general cargo* dan *self – propeller barge* untuk melayani permintaan selama 5 (lima) tahun mendatang. Penggunaan metode optimasi dengan biaya pengiriman optimum sebagai kriteria utama serta pemenuhan permintaan akan memberikan solusi moda transportasi yang sesuai. Berdasarkan hasil optimasi, moda transportasi *bulk carrier* merupakan moda yang optimum dengan *optimum cost* untuk pengiriman feronikel dengan *unit cost* sebesar Rp 524.735,93 per ton, sedangkan jika menggunakan kapal *general cargo* dan *self – propeller barge* menghasilkan *unit cost* sebesar Rp 549.168,18 per ton dan Rp 583.118,20 per ton.

**Kata Kunci**—Biaya Transportasi Laut, Optimum Unit Cost, Ukuran Kapal Optimal.

## I. PENDAHULUAN

NIKEL bermanfaat bagi kehidupan manusia dalam kehidupan sehari – hari, yakni sebagai bahan dasar pembuatan peralatan makan (sendok, garpu, sumpit, dll), pembuatan knalpot motor dan mobil, hingga rantai jam tangan. Sedangkan dalam berbagai aplikasi komersial dan industri, yakni sebagai bahan dasar pelindung baja (*stainless steel*), pelindung tembaga, industri baterai, elektronik, dll.

Menurut Laporan USGS (United States Geological Survey) pada tahun 2015, Indonesia menempati urutan ke – 6 penghasil nikel terbesar di dunia dan menempati urutan ke – 2 penghasil nikel terbesar di Asia dengan jumlah sumber daya nikel mencapai 170,000 metrik ton dan cadangan yang ada sebesar 4,5 juta ton.

Kegiatan penambangan nikel tersebut tentunya berhubungan erat dengan proses produksi dan pendistribusian kepada para konsumennya. Agar dapat menambah nilai guna nikel, maka dibutuhkan proses produksi. Untuk dapat menghubungkan proses penambangan, produksi dan pendistribusian nikel tersebut, maka diperlukan adanya transportasi. Oleh karena itu, diperlukan sinkronisasi transportasi pengangkutan feronikel hingga distribusi feronikel yang efisien dengan satuan unit biaya yang optimum.

Kurangnya perhatian terhadap kondisi pengangkutan hasil olahan bahan tambang, seperti feronikel dan hubungan antara

kapasitas armada kapal dengan jumlah muatan hasil produksi tambang juga menjadi salah satu faktor penting yang menyebabkan biaya transportasi menjadi acak dan tidak ekonomis.

Untuk mencapai biaya transportasi yang optimum, maka diperlukan armada kapal yang sesuai untuk mengirim feronikel dengan mempertimbangkan jumlah produksi feronikel.

## TINJAUAN PUSTAKA

### A. Pengertian Nikel

Nikel adalah logam putih seperti perak yang bersifat keras dan anti karat. Logam ini membantu dalam proses pengubahan beberapa logam olahan dalam bentuk larutan yang menghasilkan energi panas. Selain itu Ni juga berperan penting dalam beberapa proses pengendapan logam keras dalam bentuk paduan logam (alloy) seperti Stainlesteel yang mengandung 18% Ni dan 8% Cr dan Nikhrome yang mengandung 80% Ni dan 20% Cr disarankan oleh Roberts.

Nikel terletak dalam tabel periodik yang memiliki symbol Ni dengan nomor atom 28 merupakan unsur logam transisi dengan nomor massa 58,71 yang terletak dalam golongan VIII periode 4 dengan konfigurasi elektron [Ar] 3d<sup>8</sup> 4s<sup>2</sup>. Pada umumnya tingkat oksidasi dari Ni adalah +2. Ni pada tingkat oksidasi +3 hanya sedikit dikenal. Hidrat ion Ni<sup>2+</sup> berwarna hijau dan garam-garam Ni<sup>2+</sup> umumnya berwarna hijau dan biru.

### B. Kegunaan Feronikel

Salah satu pemakaian nikel dalam bentuk logam murni adalah pelapis untuk menambah kekerasan, daya tahan terhadap korosi permukaan, ketahanan keputaran, dan sebagainya. Selain itu digunakan pelapis mata uang logam dan digunakan dalam industri kimia.

Pemakaian dalam bentuk aliase terutama dengan besi adalah dalam industri alat angkut, permesinan baja, konstruksi baja, alat pembangkit tenaga listrik, alat pertanian, alat pertambangan, bagian dari mesin berkecepatan tinggi, dan bagian yang bersuhu tinggi. Dan terutama dengan makin bertambahnya pemakaian *stainless steel*, disamping juga untuk kebutuhan nikel sebagai paduan elemen pada mesin-mesin yang lainnya.

Berikut kegunaan logam Nikel yang lain yaitu sebagai campuran dalam pembuatan *stainless steel*, untuk pelapisan logam lain (*nickel plating*), bahan untuk industri kimia (sebagai katalis) untuk pemurnian minyak, bahan untuk industri peralatan rumah tangga, dll.

C. Pilihan Angkutan Transportasi Laut Feronikel

Dalam pendistribusian produk pengolahan nikel (feronikel), maka dibutuhkan alat transportasi, salah satunya alat transportasi laut; yakni kapal. Jenis kapal yang memungkinkan untuk mengangkut feronikel yakni *bulk carrier, general cargo, dan self-propeller barge*.

D. Komponen Biaya Transportasi Laut

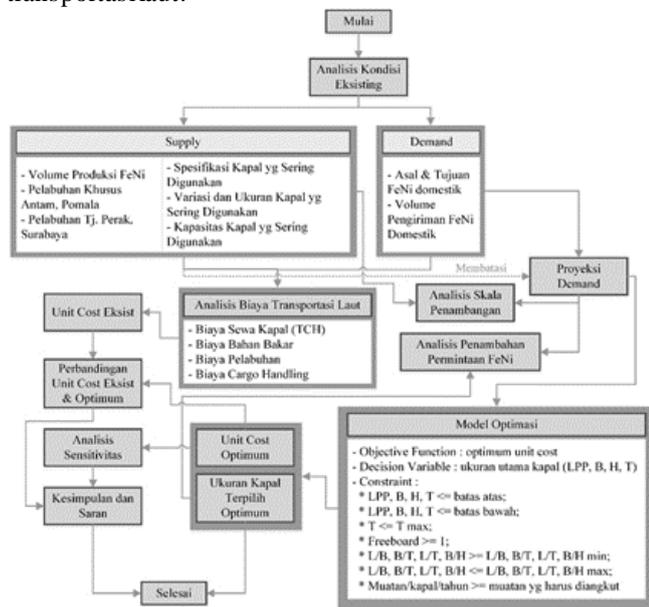
Pada umumnya biaya transportasi laut terbagi kedalam empat kategori utama [1], yaitu:

1. Biaya modal (*capital cost*); adalah harga kapal pada saat dibeli atau dibangun
2. Biaya operasional (*operating cost*); adalah biaya – biaya tetap yang dikeluarkan untuk kegiatan operasional kapal sehari – hari, terdiri dari biaya perawatan dan perbaikan, gaji ABK, biaya perbekalan, minyak pelumas, asuransi dan administrasi.
3. Biaya pelayaran (*voyage cost*); adalah biaya variabel yang dikeluarkan oleh kapal untuk kebutuhan selama pelayaran. Komponen biaya pelayaran adalah biaya bahan bakar untuk mesin induk dan mesin bantu, biaya pelabuhan, biaya pandu dan biaya tunda.
4. Biaya bongkar muat (*cargo handling cost*); adalah biaya yang digunakan untuk membongkar dan memuat muatan kapal, dengan harga berdasarkan satuan muatan (missal : TEU, box, ton, dll)

III. METODOLOGI PENELITIAN

Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui kebutuhan armada optimum termasuk kapasitas dan jumlahnya untuk menghasilkan satuan unit biaya optimum untuk pengangkutan feronikel beserta satuan unit biaya di Sulawesi Tenggara

Metode survei merupakan studi lapangan untuk mengetahui kondisi penambangan dan pengangkutan feronikel saat ini. Kemudian dilanjutkan dengan pembuatan model optimasi untuk menentukan jenis dan ukuran kapal yang sesuai untuk pengangkutan feronikel yang dapat menurunkan/menstabilkan biaya pengiriman pada sektor transportasi laut.



Gambar 1. Diagram Alir Penelitian.

IV. GAMBARAN UMUM

A. Permintaan Feronikel di PT. ANTAM

Dari data yang didapatkan pada saat survey, selama lima tahun terakhir (tahun 2012 – 2017) permintaan feronikel di PT. ANTAM Tbk., mengalami naik – turun (fluktuatif) [5-10]. Di tahun 2012, permintaan feronikel mencapai 57.677,707 MT. Namun, di tahun 2013 jumlah permintaan feronikel turun hingga mencapai 50% dari jumlah permintaan sebelumnya. Di tahun 2014 dan 2015, jumlah permintaan terus naik, dan kemudian turun lagi di tahun 2016, kemudian naik kembali di tahun 2017. Berikut akan dijelaskan dalam bentuk grafik pada Gambar 1.



Gambar 2. Grafik Permintaan Feronikel di tahun historis (2012 – 2017).

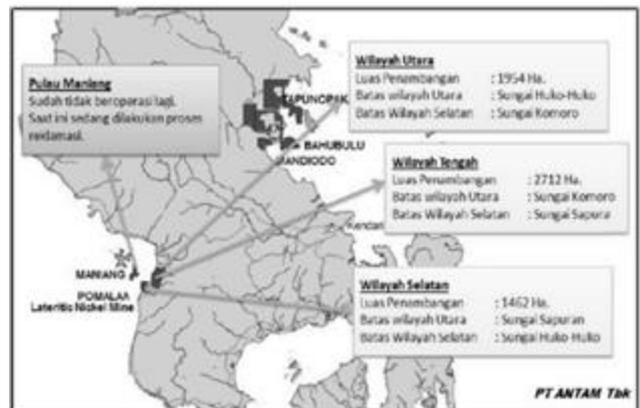
Penulis mencoba untuk memproyeksikan permintaan feronikel pada 5 (lima) tahun mendatang berdasarkan data historis yang didapat. Diketahui bahwa dari hasil perhitungan menunjukkan tren yang positif (naik). Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada grafik berikut :



Gambar 3. Grafik Permintaan Feronikel di tahun Proyeksi (2018 – 2023).

B. Lokasi Wilayah Tambang

Pertambangan nikel yang ditinjau merupakan pertambangan nikel yang berada di Pomalaa, kabupaten Kolaka, provinsi Sulawesi Tenggara yang dikelola oleh PT. ANTAM.



Gambar 4. Lokasi Tambang Nikel milik PT. ANTAM. Sumber : PT ANTAM

Disebelah utara, Unit Bisnis Pertambangan Nikel Sulawesi Tenggara berbatasan dengan Sungai Huko – Huko, sebelah timur berbatasan dengan Perbukitan Maniang, sebelah selatan berbatasan dengan Sungai Oko – Oko, dan di sebelah barat berbatasan dengan Teluk Mekongga.

Luas daerah kuasa pertambangan UBPN Sulawesi Tenggara ± 7500 ha. yang meliputi daerah antara lain; Tamba, Sapura, Tg. Pakar, Tg. Leppe. Daerah penambangan terdiri dari beberapa lokasi yaitu; Tambang Utara, Tambang Tengah, dan Tambang Selatan.

C. Proses Pengiriman Feronikel (Eksisting)

Dari data kapal yang digunakan untuk mengirim feronikel selama 5 (lima) tahun, terdapat banyak kapal yang pernah digunakan. Pada penelitian ini penulis menggunakan data kapal yang sering digunakan untuk mengangkut feronikel, dan didapatkan data kapal – kapal tersebut sebagai berikut :

Tabel 1  
Data Kapal Kondisi Eksisting Pengiriman Feronikel

	SURYA PERSADA	PHILIPS	BUNGA MELATI	BUNGA TERATAI XVII	SINAR MULIA I
Lpp (m)	50.00	53.60	66.00	66.00	70.60
B (m)	9.00	9.30	11.50	11.50	12.00
H (m)	5.50	5.50	6.70	6.70	7.00
T (m)	3.00	3.85			4.10
DWT	1,827	1,368	2,312	2,346	2,811
GT	825	658	1,317	1,327	1,500
NT	248	423	772	514	478
Vs (knot)	9.7	6.8	10.4	6.3	7.1
YEAR BUILT		1985	1985	1985	
IMO NUMBER	752089	851574	852044	850472	903488
CLASS	80	80	80	80	80

Kapal Surya Persada, Philips, Bunga Melati, dan Bunga Teratai XVII merupakan kapal – kapal yang melayani 2 (dua) kali pengiriman feronikel. Sedangkan untuk kapal Sinar Mulia I, melayani sebanyak 9 (sembilan) kali pengiriman feronikel.

D. Analisis Biaya Transportasi Laut (Kondisi Eksisting)

Komponen biaya transportasi laut yang dianalisis pada penelitian ini adalah biaya charter kapal (capital cost + operating cost), biaya perjalanan (voyage cost), dan biaya bongkar muat (cargo handling cost).

Ketiga komponen biaya tersebut membentuk total cost. Dari total cost dan jumlah muatan yang diangkut, dapat diketahui satuan unit biaya (unit cost) yang dihasilkan. Untuk lebih detail dapat dilihat pada Tabel 4 dan Tabel 5.

Tabel 2  
Total cost kapal eksisting

Jumlah/Trp	NAMA KAPAL				
	SURYA PERSADA	PHILIPS	BUNGA MELATI	BUNGA TERATAI XVII	SINAR MULIA I
TRP 1	Rp 646,834,900.82	Rp 726,302,045.31	Rp 812,146,298.48	Rp 1,381,150,803.90	Rp 978,265,782.09
TRP 2	Rp 629,159,854.71	Rp 746,702,318.11	Rp 746,152,025.18	Rp 1,380,567,888.01	Rp 978,265,782.09
TRP 3					Rp 927,466,008.06
TRP 4					Rp 927,466,008.06
TRP 5					Rp 927,466,008.06
TRP 6					Rp 927,466,008.06
TRP 7					Rp 927,466,008.06
TRP 8					Rp 927,466,008.06
TRP 9					Rp 927,466,008.06
RATA-RATA	Rp 627,939,877.70	Rp 725,387,622.31	Rp 789,149,888.35	Rp 1,380,859,300.95	Rp 927,269,438.75

Tabel 3.  
Unit cost kapal eksisting

TRP	NAMA KAPAL				
	SURYA PERSADA	PHILIPS	BUNGA MELATI	BUNGA TERATAI XVII	SINAR MULIA I
TRP 1	Rp 446,025.00	Rp 446,138.35	Rp 385,399.87	Rp 521,719.52	Rp 388,973.67
TRP 2	Rp 402,896.33	Rp 523,732.32	Rp 341,522.05	Rp 696,364.64	Rp 388,973.67
TRP 3					Rp 49,003.72
TRP 4					Rp 49,003.72
TRP 5					Rp 49,003.72
TRP 6					Rp 49,003.72
TRP 7					Rp 49,003.72
TRP 8					Rp 49,003.72
TRP 9					Rp 49,003.72
RATA-RATA	Rp 424,415.00	Rp 532,922.31	Rp 475,275.96	Rp 693,064.98	Rp 437,245.4

V. ANALISIS PEMBAHASAN

A. Analisis Optimasi Penentuan Ukuran Kapal

Pada bagian ini, Penulis mencoba untuk menganalisis dan mencari, ukuran berapa dan tipe kapal yang seperti apa untuk pengangkutan feronikel 5 (lima) tahun mendatang. Untuk

mendapatkannya, maka dibuat model optimasi untuk memilih moda transportasi laut yang tepat untuk pengiriman feronikel di 5 (lima) tahun kedepan antara bulk carrier, general cargo, dan SPB dengan kriteria total biaya transportasi laut yang minimum.

Untuk menentukan ukuran utama kapal secara umum, maka digunakan metode pendekatan yaitu mengumpulkan Data Kapal yang saratnya (T) memenuhi untuk dapat sandar di dermaga (kedalaman wilayah perairan pelabuhan Pomalaa dan pelabuhan Tanjung Perak), dan dapat digunakan sebagai batasan ukuran kapal pada saat menjalankan model optimasi penentuan ukuran utama kapal optimum nantinya. Pengumpulan data – data kapal yang digunakan sebagai acuan (data kapal pembanding), sebagai gambaran umum ukuran kapal yang terpilih nantinya. Setelah mencari data kapal, selanjutnya merangkai model optimasi dan menggunakan menu solver di Ms. Excel untuk masing – masing tipe kapal (bulk carrier, general cargo, dan self – propeller barge).

Set objective, yakni sasaran yang akan dituju yaitu satuan unit biaya minimum (unit cost) dengan by changing variable cells merupakan variabel yang berubah – ubah, yakni ukuran utama kapal (Lpp, B, H, T).

Batasan (constrain) yang diaplikasikan terhadap model optimasi yaitu :

- 1) Kapasitas Muat Kapal per tahun ≥ Muatan yang Harus diangkut per tahun (permintaan per tahun)
- 2) T (sarat kapal) ≤ T maks. (merupakan sarat maksimal kapal untuk memasuki pelabuhan)
- 3) Ukuran utama kapal (Lpp, B, H, T) ≤ Batas Atas (ukuran utama kapal maksimal yang didapat dari Data Kapal)
- 4) Ukuran utama kapal (Lpp, B, H, T) ≥ Batas Bawah (ukuran utama kapal minimal)
- 5) )Perbandingan Ukuran Utama kapal ≤ Nilai Maks. Perbandingan Ukuran Utama kapal
- 6) Perbandingan Ukuran Utama kapal ≥ Nilai Min. Perbandingan Ukuran Utama kapal
- 7) Ukuran freeboard ≥ Ukuran Min. freeboard (diasumsikan ukuran minimal freeboard yaitu 1 m)

Dari hasil running model sebanyak 5 (lima) kali untuk masing – masing jenis kapal, maka didapatkan ukuran utama kapal beserta satuan unit biaya yang dihasilkan. Untuk lebih detail, hasil running model untuk bulk carrier dapat dilihat pada Tabel 4, untuk general cargo Tabel 5, dan self – propeller barge pada Tabel 6.

Tabel 4.  
Hasil running model bulk carrier

UKURAN UTAMA	Kapal Bulk Carrier (BC)				
	RUN KE-1	RUN KE-2	RUN KE-3	RUN KE-4	RUN KE-5
Lpp (m)	61.20	61.25	61.23	62.14	62.14
B (m)	10.87	10.79	10.79	10.65	10.64
H (m)	6.10	6.11	6.12	5.85	5.85
T (m)	4.80	4.83	4.83	4.76	4.76
DWT (ton)	1,832.49	1,832.49	1,832.49	1,832.49	1,832.49
Payload (ton)	1,649.24	1,649.24	1,649.24	1,649.24	1,649.24
GT	1,242.97	1,236.28	1,235.78	1,193.09	1,192.17

Tabel 5.  
Hasil running model general cargo

UKURAN UTAMA	Kapal General Cargo (GC)				
	RUN KE-1	RUN KE-2	RUN KE-3	RUN KE-4	RUN KE-5
Lpp (m)	64.35	64.28	64.28	64.32	64.27
B (m)	11.36	11.41	11.41	11.31	11.31
H (m)	5.73	5.62	5.61	5.57	5.55
T (m)	4.37	4.35	4.35	4.37	4.37
DWT (ton)	1,832.49	1,832.49	1,832.49	1,832.49	1,832.49
Payload (ton)	1,649.24	1,649.24	1,649.24	1,649.24	1,649.24
GT	1,324.37	1,305.58	1,304.69	1,283.38	1,277.89

Tabel 6.  
Hasil *running* model *self-propeller barge*

Kapal Self - Propeller Barge (SPB)						
UKURAN UTAMA	RUN KE-1	RUN KE-2	RUN KE-3	RUN KE-4	RUN KE-5	
Lpp (m)	58.55	58.55	58.55	58.55	58.55	58.55
B (m)	15.24	15.24	15.24	15.24	15.24	15.24
H (m)	6.41	6.41	6.41	6.41	6.41	6.41
T (m)	4.04	4.04	4.05	4.05	4.05	4.05
DWT (ton)	1,832.49	1,832.49	1,832.49	1,832.49	1,832.49	1,832.49
Payload (ton)	1,649.24	1,649.24	1,649.24	1,649.24	1,649.24	1,649.24
GT	1,787.78	1,787.68	1,787.47	1,787.46	1,787.24	

Dari hasil *running* model, dapat dilihat bahwa untuk kapal *bulk carrier* menghasilkan ukuran utama (Lpp, B, H, dan T) yang optimum. Untuk Lpp (panjang kapal) dihasilkan nilai yang konsisten, yakni 58,55 m, B (lebar kapal) 15,24 m, H (tinggi kapal) 6,41 m, dan T (sarat kapal) 4,04 m.

Ukuran utama kapal yang optimum, juga menghasilkan satuan unit biaya yang optimum. Untuk lebih jelas dan detail dapat dilihat pada Tabel 10.

Tabel 7.  
Hasil *running* model *self-propeller barge*

BULK CARRIER		UNIT COST		GENERAL CARGO		UNIT COST	
RUN KE-1	Rp	526,227.08		RUN KE-1	Rp	550,895.43	
RUN KE-2	Rp	525,758.75		RUN KE-2	Rp	550,558.96	
RUN KE-3	Rp	525,689.26		RUN KE-3	Rp	550,538.32	
RUN KE-4	Rp	524,795.47		RUN KE-4	Rp	549,388.67	
RUN KE-5	Rp	524,735.93		RUN KE-5	Rp	549,168.18	

SPB		UNIT COST	
RUN KE-1	Rp	583,156.08	
RUN KE-2	Rp	583,149.05	
RUN KE-3	Rp	583,130.47	
RUN KE-4	Rp	583,130.34	
RUN KE-5	Rp	583,118.20	

Dari hasil *running* model untuk ukuran utama dan satuan unit biaya dari ketiga jenis kapal, dihasilkan satuan unit biaya optimum didapatkan dari hasil *running* model ke - 5 pada kapal *bulk carrier*, yakni sebesar Rp 524.735,93. Berikut adalah ukuran utama dan total biaya kapal terpilih.

DATA KAPAL	
Lpp (m)	62.14
B (m)	10.64
H (m)	5.85
T (m)	4.76
DWT (ton)	1832.49
Payload (ton)	1649.24
GT	1192.17
Vs (knot)	10

TOTAL COST	
Bulk Carrier	
Capital Cost	= Rp 561,886,030
Operating Cost	= Rp 3,157,697,427
Voyage Cost	= Rp 21,678,158,842
Cargo Handling Cost	= Rp 6,785,794,799
Total Penalty Cost	= Rp 3,298,480,936
TOTAL COST	= Rp 35,482,018,035
UNIT COST	= Rp 524,736

Gambar 5. Ukuran Utama dan total biaya kapal terpilih

**B. Analisis Keekonomian Biaya**

Analisis keekonomian yang diperhitungkan yakni dari segi satuan unit biaya pengangkutan feronikel pada 5 (lima) tahun mendatang antara penggunaan kapal hasil optimasi yang terpilih dengan kapal - kapal yang telah ada saat ini (kapal eksisting). Kapal hasil optimasi disini yakni KM Karina (kapal jenis *bulk carrier*), dan untuk kapal eksisting yaitu KM Surya Persada, KM Philips, KM Bunga Melati, KM Bunga Teratai XVII, dan KM Sinar Mulia I.

**1) KM SURYA PERSADA**

Dalam perhitungan, diasumsikan bahwa KM Surya Persada melayani permintaan pengangkutan feronikel dari tahun 2018 hingga tahun 2023. Rentang satuan unit biaya yang dihasilkan dari KM Surya Persada yakni Rp 637.404,36 - Rp 686.682,74 per ton.

Tabel 8.

Analisis Keekonomian Biaya KM Surya Persada

TAHUN	TOTAL COST (per tahun)	UNIT COST
2018	Rp 38,779,906,832.08	Rp 686,682.74
2019	Rp 39,282,048,425.15	Rp 675,700.70
2020	Rp 39,784,190,038.22	Rp 665,328.78
2021	Rp 40,286,331,611.29	Rp 655,517.49
2022	Rp 40,788,473,204.35	Rp 646,222.60
2023	Rp 41,290,614,797.42	Rp 637,404.36

**2) KM PHILIPS**

Dalam perhitungan, diasumsikan bahwa KM Philips melayani permintaan pengangkutan feronikel dari tahun 2018 hingga tahun 2023. Rentang satuan unit biaya yang dihasilkan dari KM Philips yakni Rp 844.162,69 - Rp 879.316,66 per ton.

Tabel 9.

Analisis Keekonomian Biaya KM Philips

TAHUN	TOTAL COST (per tahun)	UNIT COST
2019	Rp 51,396,858,197.48	Rp 879,316.66
2020	Rp 52,035,733,323.72	Rp 871,699.97
2021	Rp 52,674,608,449.97	Rp 864,394.16
2022	Rp 53,313,483,576.21	Rp 857,088.45
2023	Rp 53,952,358,702.46	Rp 849,782.74

**3) KM BUNGA MELATI**

Dalam perhitungan, diasumsikan bahwa KM Bunga Melati melayani permintaan pengangkutan feronikel dari tahun 2018 hingga tahun 2023. Rentang satuan unit biaya yang dihasilkan dari KM Bunga Melati yakni Rp 736.4447,75 - Rp 686.281,73 per ton.

Tabel 10.

Analisis Keekonomian Biaya KM Bunga Melati

TAHUN	TOTAL COST (per tahun)	UNIT COST
2018	Rp 41,792,977,654.24	Rp 736,447.75
2019	Rp 42,523,702,256.55	Rp 722,562.51
2020	Rp 43,254,426,858.86	Rp 709,634.88
2021	Rp 43,985,151,461.16	Rp 697,569.08
2022	Rp 44,715,876,063.47	Rp 686,281.73

**4) KM BUNGA TERATAI XVII**

Dalam perhitungan, diasumsikan bahwa KM Bunga Teratai XVII melayani permintaan pengangkutan feronikel dari tahun 2018 hingga tahun 2023. Rentang satuan unit biaya yang dihasilkan dari KM Bunga Teratai XVII yakni Rp 895.164,83 - Rp 944.652,44 per ton.

Tabel 11.

Analisis Keekonomian Biaya KM Bunga Teratai XVII

TAHUN	TOTAL COST (per tahun)	UNIT COST
2018	Rp 54,405,586,014.41	Rp 944,652.44
2019	Rp 54,405,586,014.41	Rp 944,652.44
2020	Rp 55,602,508,641.67	Rp 930,954.98
2021	Rp 56,799,431,268.93	Rp 918,202.17
2022	Rp 57,996,353,896.19	Rp 906,299.54
2023	Rp 59,193,276,523.45	Rp 895,164.83

**5) KM SINAR MULIA I**

Dalam perhitungan, diasumsikan bahwa KM Sinar Mulia I melayani permintaan pengangkutan feronikel dari tahun 2018 hingga tahun 2023. Rentang satuan unit biaya yang dihasilkan dari KM Sinar Mulia I yakni Rp 675.551,76 - Rp 736.924,28 per ton.

Tabel 12.

Analisis Keekonomian Biaya KM Sinar Mulia I

TAHUN	TOTAL COST (per tahun)	UNIT COST
2018	Rp 41,435,424,564.12	Rp 736,924.28
2019	Rp 42,299,291,198.91	Rp 719,579.87
2020	Rp 43,163,157,833.69	Rp 703,680.83
2021	Rp 43,163,157,833.69	Rp 703,680.83
2022	Rp 44,027,024,468.48	Rp 689,053.71
2023	Rp 44,890,891,103.26	Rp 675,551.76

6) KM KARINA

Dalam perhitungan, diasumsikan bahwa KM Karina melayani permintaan pengangkutan feronikel dari tahun 2018 hingga tahun 2023. Rentang satuan unit biaya yang dihasilkan dari KM Karina yakni Rp 5.551,76 – Rp 736.924,28 per ton.

Tabel 13.  
Analisis Keekonomisan Biaya KM Karina

TAHUN	TOTAL COST (per tahun)	UNIT COST
2018	Rp 28,539,824,984.13	Rp 596,721.34
2019	Rp 29,269,580,210.26	Rp 582,410.11
2020	Rp 29,999,335,436.38	Rp 568,098.87
2021	Rp 30,729,090,662.51	Rp 553,787.64
2022	Rp 31,458,845,888.63	Rp 539,476.41
2023	Rp 32,188,601,114.76	Rp 525,165.17

C. Skala Penambangan

Dalam proses penambangan nikel, diketahui bahwa rata – rata kadar nikel dalam tanah sebesar 1,8%. Dapat diartikan, bahwa dalam 1 ton ore (tanah) yang mengandung nikel, hanya terdapat 18 kg nikel. Sehingga, untuk menghasilkan 18 kg nikel, dibutuhkan ore (tanah) yang mengandung nikel sebanyak 1 (satu) ton.

Berdasarkan dari data produksi yang diperoleh, dan mengetahui kadar nikel rata – rata, maka dapat diperoleh jumlah ore (tanah) yang mengandung nikel yang ditambang untuk memproduksi sebanyak n nikel (satuan TNi).

Untuk menghitung jumlah ore yang ditambang, maka Penulis membuat persamaan untuk mengetahui jumlah ore yang dibutuhkan, yakni :

$$y=55,55x \text{ (satuan dalam ton)}$$

Dengan :

x = jumlah nikel yang diproduksi (TNi)

y = jumlah ore yang ditambang untuk memproduksi x ton nikel (ton)

Berikut jumlah proyeksi produksi feronikel dan jumlah ore yang ditambang (tahun 2018 – 2023)

Tabel 14.  
Proyeksi Jumlah Produksi nikel dan ore yang ditambang

TAHUN	PRODUKSI	JUMLAH ORE YANG DIBUTUHKAN
2018	19,739.46 TNi	1,096,526.85 ton
2019	20,302.99 TNi	1,116,721.19 ton
2020	20,466.53 TNi	1,136,915.53 ton
2021	20,830.06 TNi	1,157,109.87 ton
2022	21,193.60 TNi	1,177,304.20 ton
2023	21,557.13 TNi	1,197,498.54 ton

Dalam kegiatan penambangan, dibutuhkan alat untuk menunjang kegiatan penambangan. Pada tambang milik PT. ANTAM, alat – alat yang digunakan yaitu *dump truck* kapasitas 20 ton dan *excavator* PC – 200.



Gambar 6. *Dump Truck* (kiri) dan *Excavator* PC – 200 (kanan).

Untuk memenuhi jumlah permintaan produksi feronikel, maka dibutuhkan jumlah alat yang memadai untuk melakukan kegiatan penambangan. Berikut hasil analisis yang disajikan dalam grafik jumlah *dump truck* dan *excavator* yang dibutuhkan untuk memenuhi jumlah permintaan ore untuk produksi feronikel di tahun 2018 – 2023. Berikut dapat dilihat perbandingan jumlah armada yang dibutuhkan antara

Tambang Utara, Tambang Tengah, dan Tambang Selatan, disajikan dalam bentuk grafik. Jumlah unit yang terlampir merupakan jumlah unit *truck* dan *excavator* yang dibutuhkan. Sebagai contoh, pada tahun 2018 jumlah armada yang dibutuhkan untuk kegiatan penambangan di Tambang Utara sebesar 14 unit *dump truck* dan 14 unit *excavator*.



Gambar 7. Jumlah *dump truck* dan *excavator* yang dibutuhkan untuk kegiatan penambangan.

KESIMPULAN

Setelah dilakukan penelitian, adapun kesimpulan yang dapat ditarik oleh penulis adalah sebagai berikut :

- 1) Total biaya pengangkutan feronikel via domestik didapatkan dari penjumlahan dari biaya door to port, port to port. Berikut adalah hasil analisis biayanya:
  - Pengangkutan feronikel kondisi eksisting dengan menggunakan KM Surya Persada dilakukan sebanyak 2 (dua) kali pengiriman, dengan rata – rata *unit cost* sebesar Rp 424.415/ton (tanpa biaya *trucking*) dan Rp 443.272/ton (dengan biaya *trucking*) serta total biaya sebesar Rp 657.939.687/ton (tanpa *trucking*) dan Rp 687.270.887/ton (dengan *trucking*) per trip.
  - Pengangkutan feronikel kondisi eksisting dengan menggunakan KM Philips dilakukan sebanyak 2 (dua) kali pengiriman, dengan rata – rata *unit cost* sebesar Rp 935.952 /ton (tanpa biaya *trucking*) dan Rp 956.131/ton (dengan biaya *trucking*) serta total biaya sebesar Rp 725.587.652/ton (tanpa biaya *trucking*) dan Rp 741.230.959/ton(dengan *trucking*) per trip
  - Pengangkutan feronikel kondisi eksisting dengan menggunakan KM Bunga Melati dilakukan sebanyak 2 (dua) kali pengiriman, dengan rata – rata *unit cost* sebesar Rp 475.275/ton (tanpa biaya *trucking*) dan Rp 493.694/ton (dengan biaya *trucking*) serta total biaya sebesar Rp 769.149.886/ton (tanpa biaya *trucking*) dan Rp 800.436.500/ton (dengan *trucking*) per trip
  - Pengangkutan feronikel kondisi eksisting dengan menggunakan KM Bunga Teratai XVII dilakukan sebanyak 2 (dua) kali pengiriman, dengan rata – rata *unit cost* sebesar Rp 609.046/ton (tanpa biaya *trucking*) dan Rp 633.763/ton (dengan biaya

- trucking*) serta total biaya sebesar Rp 1.158.859.320/ton (tanpa biaya *trucking*) dan Rp 1.205.789.240/ton (dengan *trucking*) per trip
- Pengangkutan feronikel kondisi eksisting dengan menggunakan KM Sinar Mulia I dilakukan sebanyak 9 (sembilan) kali pengiriman, dengan rata – rata *unit cost* sebesar Rp 437.524/ton (tanpa biaya *trucking*) dan Rp 455.686/ton (dengan biaya *trucking*) serta total biaya sebesar Rp 936.279.459/ton (tanpa biaya *trucking*) dan Rp 975.822.262/ton (dengan *trucking*) per trip
- 2) Diasumsikan bahwa kapal – kapal kondisi eksisting dan kapal hasil optimasi melayani pengangkutan permintaan feronikel per tahun, pada rentang waktu historis (2012 – 2017) dan proyeksi (2018 – 2023). Dari hasil perhitungan, didapatkan :
- Pengangkutan dengan KM Surya Persada menghasilkan rentang satuan unit biaya sebesar Rp 637.404 – Rp 1.119.100 per ton.
  - Pengangkutan dengan KM Philips menghasilkan rentang satuan unit biaya sebesar Rp 844.162 – Rp 1.331.965 per ton.
  - Pengangkutan dengan KM Bunga Melati menghasilkan rentang satuan unit biaya sebesar Rp. 686.281 – Rp 1.155.141 per ton.
- Pengangkutan dengan KM Bunga Teratai XVII menghasilkan rentang satuan unit biaya sebesar Rp 895.164 – Rp 1.424.063 per ton.
  - Pengangkutan dengan KM Sinar Mulia I menghasilkan rentang satuan unit biaya sebesar Rp 675.551 – Rp. 1.215.629 per ton.
  - Pengangkutan dengan KM Karina menghasilkan rentang satuan unit biaya sebesar Rp. 520.984,88 – Rp. 851.957,00.
- 3) Berdasarkan hasil optimasi, moda transportasi dengan menggunakan kapal *bulk carrier* merupakan moda yang optimum dengan optimum cost untuk pengiriman feronikel selama 5 (lima) tahun mendatang, dengan ukuran utama sebagai berikut : Lpp = 62,14 m; B = 10,64 m; H = 5,85 m; T = 4,76 m.
- Satuan unit biaya yang dihasilkan yakni sebesar Rp 524.735,93 per ton.
  - Kapal yang terpilih dapat melayani kenaikan permintaan feronikel, terlepas dari jumlah permintaan feronikel per tahunnya, yakni berada di antara 3.298,94 ton (pada tahun 2023) dan 11.839,87 ton (di tahun 2018).

#### DAFTAR PUSTAKA

- [1] N. W. Wergeland, *Shipping*. Netherland, 1997.