

Perencanaan Transportasi Laut Batubara: Studi Kasus Taboneo - Surabaya - Tuban - Semarang

Coal Marine Transportation Planning: Case Study of Taboneo - Surabaya - Tuban - Semarang

Silvia Dewi Kumalasari^{a.1*}, Arif M Ar Rasyid^{b.2}, Setyo Nugroho^{c.3}, Achmad Mustakim^{d.4}

^{a.} Institut Transportasi dan Logistik Trisakti, Jakarta, Indonesia

^{b,c,d} Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya, Indonesia

^{1*} silviadewikumalasari@gmail.com, ² arifmj78@gmail.com, ³ snugroho@na.its.ac.id, ⁴ mustakimachmad@gmail.com

*corresponding e-mail

This is an open access article under the terms of the CC-BY-NC license

ABSTRACT

The main purpose of this study to give recommendations related route and size of the ship optimize in coal delivery with minimum criteria are unit cost and the needs of port facilities which include capacity of stockpiles, and loading unloading equipment. Based on the requirement to provide PLTU in Surabaya, Semarang, and Tuban. The coal supply is sent from Taboneo. Demand of each PLTU are 480.000 Tonnes/Yr., 330.000 Tonnes/Yr, and 180.000 Tonnes/Yr. Methods that used in this study are optimization linier programming method with transportation and ship assignment concept, ship design method based on sample design literation and port design method. The results of calculation showed that the best route is a system Port to Port, which are Taboneo-Surabaya, Taboneo-Semarang, and Taboneo-Tuban, vessel capacity 10.500 tons needs two fleets. Obtained the unit cost amounted Rp. 131,79/Ton.Nm. The destination port which selected to be designed in this research is one of three destination ports is Port of Tuban. It depends on smallest coal demand per year. Extensive area of stockpiles needed to provide PLTU Tuban are 140 m². Grab Crane is loading unloading equipment that used in this port with productivity 1.000 ton/hour, and it needed 1 unit.

Keywords: bulk carrier, coal, cost of sea transport, shipping, port

ABSTRAK

Tujuan utama dalam penelitian ini adalah memberikan rekomendasi terkait rute dan ukuran kapal teroptimum dalam pengiriman batubara dengan kriteria minimum *unit cost* serta kebutuhan fasilitas pelabuhan yang meliputi kapasitas lapangan penumpukan, dan peralatan bongkar muat. Dalam pemenuhan kebutuhan PLTU di Surabaya, Semarang, dan Tuban. Pasokan Batubara dikirim dari Taboneo. *Demand* masing-masing PLTU sebesar 480.000 Ton/Thn, 330.000 Ton/Thn, dan 180.000 Ton/Thn. Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode optimasi linier programming dengan konsep *transportation problem* dan *ship assignment*. Serta metode lain yang digunakan adalah desain kapal dengan literasi *sample design*, serta desain pelabuhan. Hasil perhitungan menunjukkan bahwa untuk pengiriman batubara, rute terbaik adalah sistem *Port to Port*, yaitu Taboneo-Surabaya, Taboneo-Semarang, dan Taboneo-Tuban, dengan menggunakan

kapal berkapasitas 10.500 ton berjumlah dua unit. Didapatkan *unit cost* sebesar Rp.131,79 /Ton.Nm. Pelabuhan yang didesain pada penelitian ini yakni salah satu dari tiga pelabuhan tujuan, sehingga terpilih pelabuhan Tuban dikarenakan Tuban merupakan pelabuhan tujuan dengan jumlah *demand* batu bara paling sedikit. Luas lapangan penumpukan batubara yang dibutuhkan untuk memenuhi kebutuhan PLTU Tuban sebesar 140 m². Peralatan bongkar muat yang digunakan yakni *Grab Crane* dengan produktivitas grab 1.000 ton/jam, dan jumlah alat yang dibutuhkan sebanyak 1 unit.

Kata Kunci: batubara, *bulk carrier*, biaya transportasi laut, kepelabuhanan, pelayaran

A. Pendahuluan

Transportasi laut memberikan kontribusi yang sangat besar bagi perekonomian dunia dimana pengangkutan barang merupakan bagian terpenting bagi bisnis transportasi laut dimana lebih dari tujuh miliar ton barang dikirim lewat jalur laut setiap tahunnya. Keefektifan terhadap operasional pelayaran akan menurunkan biaya operasional yang memberikan dampak yang besar baik bagi konsumen maupun penyedia layanan transportasi laut itu sendiri. Perlu diketahui bahwa kontribusi transportasi laut menjadi semakin penting karena nilai biaya yang dikeluarkan adalah paling kecil bila dibandingkan dengan biaya transportasi darat maupun udara. Selain itu pengiriman melalui moda laut kapasitasnya jauh lebih besar dibanding dengan transportasi darat maupun udara. Efisiensi dalam proses transportasi laut dan distribusi menjadi salah satu hal yang penting karena proporsi biaya transportasi bisa mencapai 66% dari keseluruhan biaya logistik

Seiring kemajuan teknologi, kebutuhan akan listrik menjadi kebutuhan utama bagi keberlangsungan hidup manusia, tidak hanya untuk skala rumah tangga terlebih untuk dunia perindustrian. Mengingat akan hal ini, maka PT PLN (Persero) sebagai perusahaan negara yang bertugas menyediakan kebutuhan listrik mencanangkan Program Percepatan Pembangunan Pembangkit Listrik. Salah satu realisasi dari program ini adalah dengan dibangunnya Proyek PLTU Tanjung awar awar yang terdiri dari satu unit yang masing-masing berdaya 350 MW. Selain PLTU Tanjung Awar-Awar, masih ada dua proyek PLTU yang juga dibangun di lokasi pulau Jawa, yaitu PLTU Labuan, Banten yang terdiri dari dua unit masing-masing berdaya 300 MW dan PLTU Indramayu, Jabar yang terdiri dari dua unit juga masing-masing berdaya 330 MW. Proyek Percepatan Pembangunan Pembangkit Listrik yang lazim disebut sebagai Program Percepatan 10.000 MW ini merupakan salah satu tonggak penting di dalam mempersiapkan ketersediaan energi nasional di masa depan.

Dengan peningkatan permintaan *supply* batubara di Indonesia, maka diperlukan

suatu pola rute yang optimal sehingga permintaan batu bara tersebut dapat dipenuhi dengan biaya yang paling minimum. Penentuan rute yang optimum, kapal yang optimum dan ukuran yang optimum sangat berpengaruh pada distribusi batu bara untuk PLTU yang ada di Indonesia karena menentukan produksi listrik nasional dan minimum investasi sehingga dapat mengurangi beban dari negara.

Penelitian ini berdasarkan beberapa penelitian sebelumnya dengan metode yang sama tetapi objek penelitian yang berbeda. Penelitian sebelumnya oleh Amalia (2004) yang berkaitan dengan metode optimasi *linier programming* yang membahas mengenai optimasi komposisi kuantum produksi dengan menggunakan metode *linier Programming* studi kasus PT. Petrokimia Gresik, dengan hasil penelitiannya adalah solusi optimal produksi semen pada tahun 2004 dan minimum total biaya produksi semen. Penelitian lainnya menggunakan metode *Integer Linier Programming* oleh Junda (2017) tentang “Perancangan Distribusi Semen dengan Moda Transportasi Darat di PT. Semen Gresik”, dengan tujuan untuk mendapatkan lokasi distribusi dari masing masing pabrik dan penentuan kebutuhan armada truk dengan biaya distribusi yang paling minimum. Penelitian oleh Puspitasari (2016) tentang “Model Optimasi Pola Suplai Premium Impor ke Terminal BBM Area Barat (*West Cluster*) PT. Pertamina Persero”, penelitian ini juga menggunakan metode *Integer Linier Programming* untuk mendapatkan pola suplai premium impor di terminal BBM area barat. Dari beberapa penelitian tersebut terdapat persamaan metode yang dapat digunakan pada penelitian ini yakni metode *Integer Linier Programming*. Perbedaan penelitian ini dengan beberapa penelitian di atas adalah penelitian ini menggabungkan hasil dari metode *Integer Linier Programming* dengan desain perencanaan pelabuhan sehingga tidak hanya menghasilkan rute dan ukuran utama kapal yang optimum tetapi dibuat konsep perencanaan dari hasil pengolahan dengan metode tersebut.

B. Metode Penelitian

Pada penelitian ini pertama dilakukan identifikasi mengenai permasalahan yang diangkat atau permasalahan yang timbul adalah terjadinya permintaan batubara dari tiga wilayah di Jawa Timur, yaitu Surabaya, Tuban dan Semarang. Permintaan tersebut disuplai dari satu wilayah di Taboneo. Kemudian dilakukan studi literatur yang terkait dengan permasalahan pada penelitian ini. Materi – materi yang dijadikan sebagai tunjauan pustaka mengenai Transportasi Laut dalam segi kepelabuhanan, pelayaran dan kapal, Pembangkit Listrik Tenaga Uap, Muatan dan Optimisasi. Studi literatur mencakup tulisan – tulisan

yang berkualitas dan memiliki kejelasan kepenulisannya. Selain itu juga mengambil dari beberapa penelitian lainnya yang telah dilakukan yang dapat disetarakan atau disamakan dalam permasalahan yang sesuai dengan penelitian ini.

Berdasarkan identifikasi masalah, dan studi literatur kemudian dilakukan pengumpulan data dengan data sekunder, dan diolah lebih lanjut sehingga dapat digunakan untuk bahan dalam perhitungan optimisasi. Dilakukan pula perumusan skenario untuk optimisasi distribusi batubara yang optimum dari Taboneo menuju Surabaya, Tuban dan Semarang. Selain skenario tersebut, juga dilakukan pemilihan kapal eksisting yang sesuai untuk mendukung pola operasi distribusi batubara yang optimum. Dan terakhir dilakukan desain layout pelabuhan khusus salah satu dari tiga kota tersebut sebagai contoh desain pelabuhan yang optimum.

Diakhir penelitian ini dilakukan penarikan kesimpulan yang menjawab semua permasalahan, Sehingga jawaban tersebut dapat menjadi acuan atau studi dalam pengembangan transportasi tersebut, kemudian dituliskan saran terhadap pihak – pihak terkait sebagai bahan pertimbangan dalam pengambilan keputusan *stakeholder*.

Metode pengumpulan data yang digunakan dalam penelitian ini menggunakan metode pengumpulan data sekunder. Metode ini dipilih karena untuk menghindari pengamatan langsung sebagai efektifitas waktu dan efisiensi pengeluaran dalam pengerjaan penelitian ini. Data yang dikumpulkan adalah data tentang empat pelabuhan yang berkepentingan yaitu pelabuhan di Taboneo, Surabaya, Tuban dan Semarang, kapal – kapal *Bulk Carrier* eksisting sebagai angkutan laut, data *supply and demand* perhari dan pertahun, data jarak masing – masing pelabuhan. Berikut merupakan beberapa data *owner requirement* yang ditentukan terlebih dahulu dan dibutuhkan pada penelitian ini: Data muatan berdasarkan *owner requirement* yakni muatan batu bara sesuai dengan rute dan telah ditentukan berdasarkan kebutuhan per tahun :

Tabel 1. Data Muatan

No.	Pelabuhan	Asal/Tujuan	Volume (ton/thn)	
			Muat	Bongkar
1	Taboneo	Asal/Tujuan	990.000	
2	Surabaya	Tujuan		480.000
3	Tuban	Tujuan		180.000
4	Semarang	Tujuan		330.000

Sumber: Owner Requirement Peneliti, 2015

Data keempat pelabuhan memiliki kedalaman pelabuhan masing-masing dan memiliki keterbatasan kapal yang bisa masuk kedalam kolam pelabuhan (sarat kapal

disesuaikan dengan kedalaman pelabuhan). Syarat kapal yang dapat masuk kedalam pelabuhan yakni selisih sarat kapal dengan kedalaman pelabuhan berkisar $\pm 1,1$ m. Kedalaman keempat pelabuhan tersebut yakni:

Tabel 2. Data Pelabuhan		
No.	Nama Pelabuhan	LWS (M)
1	Taboneo	11
2	Surabaya	9
3	Semarang	8
4	Tuban	7

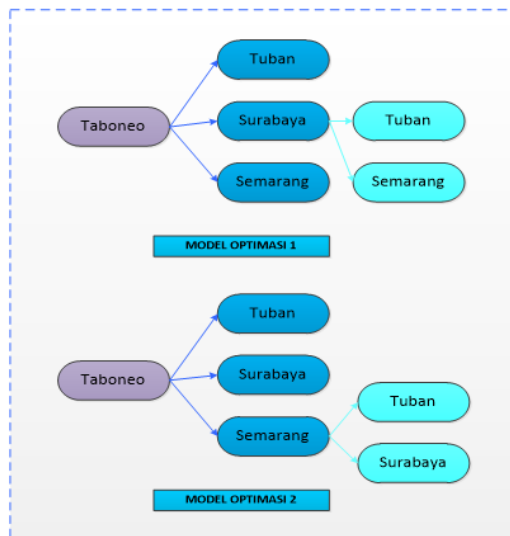
Sumber: <http://www.pelindo.co.id>, 2015

Dari tabel tersebut dapat diketahui bahwa kedalaman di masing-masing pelabuhan yakni sekitar 7 – 11 M.

C. Hasil dan Pembahasan

1. Analisis dan Pengolahan Data

Tahap pertama yang dilakukan yakni membuat alternatif rute sebagai konsep awal model optimasi sebagai berikut :



Gambar 1. Skema Model Alternatif Rute

Skema model alternatif rute menjelaskan bahwa, proses model dalam satu kali running memberikan pilihan apakah akan memilih *port to port* atau *transshipment* yang akan memberikan nilai *unit cost* paling minimum. Dari skema model diatas, dapat dilakukan perumusan matematis dari setiap model.

Selanjutnya dari konsep tersebut dilakukan proses optimasi, Dalam optimisasi ditentukan *Decision Variabel* nya yaitu alternatif kapal terkait ukuran kapal, kecepatan, dan DWT. Ditentukan pula *constraint* nya adalah *demand* dan *supply*, volume bongkar muat, jarak origin dan destination, sarat pelabuhan. Dasar penentuan *constraint* berdasarkan batasan *owner requirement* yang dibuat oleh peneliti, serta menyesuaikan dengan batasan kondisi dan fasilitas pelabuhan yang sudah ada. *Objective function* dari optimasi ini adalah *minimum cost of transport* yang terkait *voyage cost*, *cargo handling cost* dan *time charter cost*. *Objective function* akan menentukan unit cost paling kecil dari operasi kapal yang terpilih. Secara garis besar dibuat dalam beberapa tahapan sebagai berikut:

1. Identifikasi masalah yang meliputi jumlah produksi batubara dalam setahun (*supply*), permintaan pengiriman batubara pada masing-masing daerah tujuan (*demand*)
2. Perencanaan alternatif rute;
3. Perencanaan alternatif kapal;
4. Kompatibilitas kapal;
5. Frekuensi Maksimum Kapal;
6. Perhitungan biaya transportasi, meliputi fixed cost dan variable cost;
7. Ship assignment yaitu untuk menentukan kapal mana yang akan ditugaskan pada alternatif rute yang terpilih dengan jumlah tertentu;
8. Perhitungan minimum biaya (total cost), minimum unit cost serta cargo yang terkirim untuk masing-masing daerah tujuan (selesai).

Berdasarkan hasil optimasi tersebut terpilih satu jenis kapal yang kemudian dari kapal terpilih tersebut dilakukan desain kapal dengan ruang muat yang sesuai. Pada desain kapal ini dilakukan dua tahap yakni pembuatan *lines plan* dan *general arrangement* / rencana umum. Menurut ”*Ship Design and Construstion*”, karakteristik rencana umum dibagi menjadi 4 bagian antara lain :

- a. Penentuan lokasi ruang utama
- b. Penentuan batas-batas ruangan
- c. Penentuan dan pemilihan perlengkapan yang tepat
- d. Penentuan akses (jalan atau lintasan) yang cukup

Kemudian dilakukan desain pelabuhan dengan kapasitas pelabuhan menyesuaikan dengan volume muatan batubara per tahun. Desain pelabuhan yang dilakukan meliputi perhitungan kapasitas lapangan penumpukan dan alat di pelabuhan, dimensi dermaga, serta dimensi lapangan penumpukan.

2. Perencanaan Rute dan Pola Operasi

Pada perencanaan rute dan pola operasi menggunakan optimasi linier dengan bantuan solver pada microsoft excel untuk menghasilkan alternatif rute yang paling optimum dengan *unit cost minimum*, kapal yang digunakan, dan jumlah armada kapal yang dibutuhkan pada rute tersebut. Proses optimasi diawali dengan memasukkan data keseluruhan, beberapa data yang dibutuhkan yaitu data alternatif kapal, data alternatif rute, kompatibilitas kapal, *roundtrip days*, frekuensi kapal *by trip*, *variable cost*, dan *fixed cost*.

Beberapa data inputan untuk proses optimasi Antara lain :

Data Kapal

Tabel 3. Data Kapal

No	Nama Kapal	DWT (ton)	Payload (Ton)	Ukuran Utama (meter)					Vs (knot)
				LOA	LPP	B	T	H	
Kapal 1	KAMORA	3679	3345	72	65.2	14	3.9	6.8	3.9
Kapal 2	Joceline	7581	6892	114.8	109	17.51	6.09	9.3	10
Kapal 3	Ibrahim Zahier	7594	6904	114.5	109.4	20	6	10	10
Kapal 4	SOEMANTRI BOJONEGORO	11200	10182	114.5	109.4	20	4.2	10	10
Kapal 5	Otong Kosasih	11396	10500	123.2	117	19.7	6.2	10.6	10

Sumber: Biro Klasifikasi Indonesia, 2014

Keterangan :

- DWT** *Dead Weight Ton* merupakan berat dari muatan, perbekalan, bahan bakar, air tawar, penumpang dan awak kapal yang diangkut oleh kapal pada waktu dimuati sampai garis muat musim panas maksimum menggunakan satuan ton.
- Payload** Muatan bersih kapal
- LOA** *Length of All*, Panjang seluruhnya, yaitu jarak horizontal yang di ukur dari titik terluar depan sampai titik terluar belakang kapal.
- LPP** *Length between perpendicular*, Panjang yang diukur antara dua garis tegak yaitu, jarak horizontal antara garis pada sumbu poros kemudi (*After Perpendicular/ AP*) dan garis tegak haluan (*Fore Perpendicular/ FP*).
- B** Lebar terbesar kapal diukur pada bidang tengah kapal (*midship*) diantara dua sisi dalam kulit kapal pada kapal-kapal baja atau kapal yang terbuat dari logam lainnya. Sementara pada kulit kapal yang terbuat dari kayu atau bahan bukan logam lainnya, diukur jarak antara dua sisi terluar kulit kapal (ketebalan material diikutkan).
- T** Sarat merupakan jarak tegak yang diukur dari sisi atas lunas sampai ke permukaan air.

- H Tinggi kapal merupakan jarak tegak yang diukur pada bidang tengah kapal (*midship*), dari atas lunas sampai sisi atas balok geladak disisi kapal.
- Vs Kecepatan dinas merupakan kecepatan rata-rata yang dicapai dalam serangkaian dinas pelayaran yang telah dilakukan suatu kapal. Kecepatan ini juga dapat diukur pada saat badan kapal dibawah permukaan air dalam keadaan bersih (pada saat *sea trial*), dimuati sampai dengan sarat penuh, motor penggerak bekerja pada keadaan daya rata-rata dan cuaca normal.

Data Biaya (Cost)

Fixed cost adalah biaya yang muncul ketika kapal tersebut digunakan. Dalam penelitian ini, *fixed cost* yang dimaksud yaitu biaya sewa kapal. Dimana, sewa yang dimaksud menggunakan jenis *time charter*.

Tabel 4. *Time Charter Hire* Masing – Masing Kapal

KAPAL	DWT	TCE/DAY (\$)	TCE/DAY (Rp)
Kapal 1	3679	5495	Rp 74.018.710,09
Kapal 2	7581	5594	Rp 75.348.476,57
Kapal 3	7594	5594	Rp 75.352.906,85
Kapal 4	11200	5685	Rp 76.581.799,20
Kapal 5	11396	5690	Rp 76.648.594,24

Sumber: *Hellenic Shipping*, diolah kembali, 2015

Variable cost yaitu biaya kapal yang ditimbulkan akibat adanya muatan. *Variable cost* memiliki beberapa komponen biaya didalamnya seperti: biaya bongkar muat, biaya konsumsi bahan bakar dan biaya pelabuhan.

Tabel 5. Total Biaya Bongkar Muat

No.	Asal	Tujuan	Biaya Bongkar Muat per Tahun
1	Taboneo	Tuban	Rp 306.000.000,00
2	Taboneo	Surabaya	Rp 816.000.000,00
3	Taboneo	Semarang	Rp 561.000.000,00
4	Surabaya	Semarang	Rp 561.000.000,00
5	Surabaya	Tuban	Rp 306.000.000,00
6	Semarang	Surabaya	Rp 816.000.000,00
7	Semarang	Tuban	Rp 306.000.000,00

Sumber: *Pelindo.co.id*, diolah kembali, 2015

Tabel 6. Total Biaya Bahan Bakar

Kapal	Biaya Bahan Bakar per Nm
Kapal 1	Rp 322.701,73
Kapal 2	Rp 154.796,77
Kapal 3	Rp 154.796,77
Kapal 4	Rp 195.121,97
Kapal 5	Rp 195.121,97

Sumber: *Bunkerworld*, diolah kembali, 2015

Tabel 7. Total Biaya Pelabuhan

Pelabuhan	Biaya Pelabuhan				
	Kapal 1	Kapal 2	Kapal 3	Kapal 4	Kapal 5
Taboneo	Rp 1,430,560.00	Rp 2,676,480.00	Rp 3,288,240.00	Rp 3,276,960.00	Rp 3,288,240.00
Tuban	Rp 1,430,560.00	Rp 2,676,480.00	Rp 3,288,240.00	Rp 3,276,960.00	Rp 3,288,240.00
Surabaya	Rp 1,430,560.00	Rp 2,676,480.00	Rp 3,288,240.00	Rp 3,276,960.00	Rp 3,288,240.00
Semarang	Rp 1,430,560.00	Rp 2,676,480.00	Rp 3,288,240.00	Rp 3,276,960.00	Rp 3,288,240.00

Sumber: Pelindo.co.id, diolah kembali, 2015

Data – data tersebut akan digunakan sebagai inputan data kedalam model optimasi. Setiap model akan dilakukan *running* atau proses optimasi dengan *sheet* yang berbeda. Model matematis dari setiap model dapat dituliskan sebagai berikut :

Sehingga model matematis dapat dituliskan sebagai berikut :

Diketahui :

- FC = Fixed cost (Rp)
 VC = Variabel cost (Rp)
 k = Jenis Kapal (1,2,3,4,5)
 K = Jumlah Kapal
 X = Frekuensi by cargo (Trip/Tahun)
 Y = Payload kapal (Ton)
 R = Rute
 S = Jarak (Nm)
 M = Jumlah Muatan (Ton)

Objective Function :

$$\sum_{R=1}^5 \sum_{k=1}^5 \frac{(FC_k + K_R) + (VC_I \text{ Rp/})}{M_{Rk} * S_{Rk}}$$

Decision Variable :

X_{RK} = Jumlah Frekuensi by cargo untuk rute R kapal K (Trip/Tahun)

Dimana $\rightarrow R$ = rute (1,2,3,4,5)

k = kapal yang digunakan (1,2,3,4,5)

Jika kapal terpilih atau ditugaskan maka jumlah frekuensi pada kapal terisi atau $X_{RK} > 0$, sebaliknya jika kapal tidak ditugaskan maka $X_{RK} = 0$ artinya frekuensi kapal tidak terisi.

Model Matematis Optimasi 1:

Rute:

- 1 = Taboneo - Surabaya
- 2 = Taboneo - Tuban
- 3 = Taboneo - Semarang
- 4 = Surabaya – Tuban
- 5 = Surabaya – Semarang

Constraint :

$$\begin{aligned}\sum_{k=1}^5 X_{4k} * Y_k &\geq 180.000 \text{ Ton} \\ \sum_{k=1}^5 X_{5k} * Y_k &\geq 330.000 \text{ Ton} \\ \sum_{k=1}^5 ((X_{4k} * Y_k) + (X_{5k} * Y_k)) - (X_{1k} * Y_k) &\geq 480.000 \text{ Ton} \\ \sum_{k=1}^5 (X_{1k} * Y_k) + (X_{4k} * Y_k) + (X_{5k} * Y_k) &\leq 990.000 \text{ Ton}\end{aligned}$$

Model Matematis Optimasi 2 :

Rute

- 1 = Taboneo - Surabaya
- 2 = Taboneo - Tuban
- 3 = Taboneo - Semarang
- 4 = Semarang – Surabaya
- 5 = Semarang – Tuban

Constraint :

$$\begin{aligned}\sum_{k=1}^5 X_{4k} * Y_k &\geq 480.000 \text{ Ton} \\ \sum_{k=1}^5 X_{5k} * Y_k &\geq 180.000 \text{ Ton} \\ \sum_{k=1}^5 ((X_{4k} * Y_k) + (X_{5k} * Y_k)) - (X_{3k} * Y_k) &\geq 330.000 \text{ Ton} \\ \sum_{k=1}^5 (X_{3k} * Y_k) + (X_{4k} * Y_k) + (X_{5k} * Y_k) &\leq 990.000 \text{ Ton}\end{aligned}$$

Dari model matematis tersebut dapat diketahui bahwa yang menjadi *objective function* yakni *minimum unit cost* yang didapatkan dari *fixed cost* dikalikan dengan jumlah kapal yang digunakan ditambahkan dengan *variabel cost* yang dikalikan dengan jumlah frekuensi berdasarkan hasil optimasi kemudian dibagi dengan jarak total yang ditempuh, sehingga diperoleh *unit cost*. Yang menjadi decision variabel dari proses optimasi ini yakni *frekuensi by cargo* dari pelabuhan asal ke pelabuhan tujuan dengan menggunakan kapal tipe ke berapa (X_{ijk}). Yang menjadi *constraint* yakni total yang terkirim lebih besar sama dengan *demand* dari pelabuhan tujuan. Dan *constraint supply* harus kurang dari sama dengan jumlah yang akan dikirim. Dengan model matematis, perhitungan optimasi juga dapat dilakukan secara manual.

Dari hasil optimasi didapatkan masing – masing unit cost untuk tujuan Tuban Rp 67.478, Surabaya sebesar Rp 62.206, dan Semarang sebesar Rp 82.766. *Unit cost* tertinggi terletak pada daerah semarang dikarenakan semarang merupakan tujuan dengan jarak terjauh dari pelabuhan asal yakni taboneo.

3. Perencanaan dan Desain Konseptual Kapal

Kapal yang terpilih berdasarkan hasil optimasi adalah kapal 5, dengan data kapal sebagai berikut :

Nama Kapal	= Otong Kosasih
Tahun Pembuatan	= 1976
DWT	= 11.396 ton

Payload	= 10.500 ton
LOA	= 123 m
LPP	= 117 m
B	= 20 m
T	= 6,03 m
H	= 10 m
Vs	= 10 knot
Class	= Biro Klasifikasi Indonesia

Setelah didapatkan ukuran utama optimum dari hasil perhitungan, kemudian dilakukan pembuatan *Lines Plan*. *Lines plan* merupakan gambar yang menyatakan bentuk potongan badan kapal dibawah garis air yang memiliki tiga sudut pandang yaitu, *body plan* (secara melintang), *sheer plan* (secara memanjang) dan *half breadth plan* (dilihat dari atas). Ada berbagai cara membuat lines plan. Salah satu cara yang digunakan pada penelitian ini yaitu menggunakan metode literasi *sample design*. Sebagai langkah awal, dilakukan pembuatan *Lines Plan* berdasarkan data kapal terdahulu (*sample design*). Kemudian dilakukan penyempurnaan menggunakan *software AutoCad (student version)*. Menggambar *half breadth plan* dan *sheer plan* juga dibantu oleh kedua *software* tersebut.

Dengan *lines plan* secara garis besar bentuk badan kapal akan terlihat sehingga memudahkan dalam merencanakan serta menentukan pembagian ruangan sesuai dengan fungsinya masing-masing. Dari *lines plan* tersebut dibuat rencana umum/general arrangement yakni perencanaan ruangan yang dibutuhkan sesuai dengan fungsi dan perlengkapannya. Ruangan-ruangan tersebut misalnya : ruang muat, ruang akomodasi, ruang mesin, superstructure (bangunan atas), dll. Disamping itu, juga meliputi perencanaan penempatan lokasi ruangan beserta aksesnya, untuk kapal barang dagang rencana umum juga mengatur tentang penempatan ruang muat agar muatan dapat diangkut ke tempat tujuan dengan aman, murah, serta proses bongkar muat yang ekonomis.

Berikut perencanaan volume ruang muat untuk kapal terpilih:

- Volume Ruang Keseluruhan (V_h) = 21.046 m^3
- Volume kamar mesin (V_{km}) = $1.204,891 \text{ m}^3$
- Volume Ceruk Buritan (V_{cb}) = $111,89 \text{ m}^3$
- Volume Ceruk haluan (V_{ch}) = $266,409 \text{ m}^3$
- Volume ruang muat (V_r) = $V_h - (V_{km} + V_{cb} + V_{ch}) = 19.564,141 \text{ m}^3$

Setelah diketahui volume ruang muat, kemudian melakukan perhitungan untuk batasan ruang muat dengan volume muatan. Muatan yang akan diangkut yaitu Batu Bara. Batu bara memiliki harga masa jenis yaitu $1,175 \text{ Ton/m}^3$. Sehingga didapatkan volume muatan sebagai berikut:

• Volume muatan = $10.662,915 \text{ m}^3$
 Volume ruang muat pada desain kapal :

- Ruang Muat - 1 = $2.927,64 \text{ m}^3$
- Ruang Muat - 2 = $3.259,4 \text{ m}^3$
- Ruang Muat - 3 = $3.267,42 \text{ m}^3$
- Ruang Muat - 4 = $3.074,35 \text{ m}^3$
- Total Volume ruang muat pada desain = $12.528,92 \text{ m}^3$

4. Perencanaan dan Desain Konseptual Pelabuhan

Perencanaan fasilitas pelabuhan sangat diperlukan dalam perencanaan layout pelabuhan. Fasilitas pelabuhan yang didesain pada penelitian ini yakni salah satu dari tiga pelabuhan tujuan, sehingga terpilih pelabuhan Tuban dikarenakan Tuban merupakan pelabuhan tujuan dengan jumlah *demand* batu bara paling sedikit. Fasilitas pelabuhan batu bara yang harus di desain yakni terdiri dari :

1. Fasilitas dermaga, dermaga yang digunakan dalam penelitian ini yakni menggunakan jetty.
2. Fasilitas penumpukan, pada pelabuhan batu bara lahan untuk digunakan sebagai penumpukan disebut dengan *stockpile*.

Pada penelitian ini menggunakan jetty untuk pelabuhan Tuban dikarenakan pada kolam pelabuhan Tuban kedalamannya sebesar sekitar 2 meter, sehingga diperlukan jetty agar pelabuhannya lebih menjorok ke laut untuk mendapatkan kedalaman pelabuhan 7 meter. Fasilitas pendukung pada jetty ini terdiri dari grab/loader yang bisa berpindah pindah dan conveyor, dengan dimensi sebagai berikut :

Tabel 8. Spesifikasi *Grab Crane*

Jenis	<i>Travelling overhead Trolley grabbing crane unloader</i>	
Dimensi <i>platform</i> (<i>span x side clearance</i>)	15 x 13 meter	
Produktivitas grab	1000	ton/jam
Jumlah grab	1	buah
Total Produktivitas grab	1000	ton/jam

Sumber: Katalog Grab Kangaroo, diolah kembali, 2015

Tabel 9. Spesifikasi *Conveyor*

Jenis	<i>Conveyor belt with aluminium cover</i>	
<i>Belt width</i>	2,2	meter
<i>Belt speed</i>	650	<i>feet per minute</i>
produktifitas	1146	<i>ton per hour</i>
conveyor yang dibutuhkan	1	<i>Line</i>

Sumber: Katalog Grab Kangaroo, 2015

Selanjutnya dapat dihitung dimensi dermaga. diantaranya panjang dermaga, lebar dermaga, dan *trestle*. Panjang dermaga dihitung dari total keseluruhan fasilitas yang terpasang pada dermaga yakni fasilitas bongkar muat atau grab serta ukuran Loa kapal yang akan sandar di pelabuhan tersebut. Dengan perhitungan sebagai berikut :

Jarak antar mooring :

$$\begin{aligned} 0,8*LOA &= 0,8*123,22 &= 98,576 \text{ m} \sim 99 \text{ m} \\ \text{Unloading platform} &= 13 \text{ m} \\ \text{Clearance panjang rel grab} &= 30 \text{ m} \\ \text{Total Panjang Dermaga} &= 142 \text{ m} \end{aligned}$$

Lebar dermaga dihitung dari total keseluruhan fasilitas yang terpasang pada dermaga.

Dengan perhitungan sebagai berikut :

$$\begin{aligned} \text{Unloading Platform} &= 15 \text{ m} \\ \text{Rel Unloading kanan kiri} &= 2 \text{ m} \\ \text{Clearance} &= 3 \text{ m} \\ \text{Jalan akses ke dermaga} &= 6 \text{ m} \\ \text{Total Lebar Dermaga} &= 26 \text{ m} \end{aligned}$$

Pada perhitungan untuk ukuran dimensi *trestle* yakni dipengaruhi oleh fasilitas yang menempel pada *trestle* yakni diantaranya *conveyor*. Oleh karena itu didapatkan dimensi dari *Trestle* dengan perhitungan sebagai berikut : Panjang *trestle* = 500 m. Panjang *trestle* sebesar 500 meter diasumsikan dikarenakan dengan jarak 500 meter dari pelabuhan didapatkan kedalam laut yang sesuai yakni 7 meter, oleh karena itu diasumsikan 500 meter.

Sedangkan untuk perhitungan lebar *trestle* didapatkan dari :

$$\begin{aligned} \text{Jalan untuk akses ke dermaga} &= 6 \text{ m} \\ \text{Lebar conveyor} &= 2,2 \text{ m} \\ \text{Clearance} &= 1,3 \text{ m} \\ \text{Total lebar trestle} &= 9,5 \text{ m} \end{aligned}$$

Sedangkan untuk lebar *trestle* didapatkan dari perhitungan lebar conveyor sebesar 2,2 meter ditambah dengan asumsi jalan akses jika ada truck berpapasan 2 truck, untuk per truck nya 2,5 meter, dan clearance 1 meter sehingga menjadi 6 meter, serta *clearance* asumsi 1,3 meter. Sehingga didapatkan lebar *trestle* nya sebesar 9,5 meter.

Fasilitas lapangan penumpukan pada pelabuhan batu bara yang digunakan yakni fasilitas penumpukan yang disebut dengan *stock pile*. *Stock pile* tersebut berbentuk trapezoid dengan sisi – sisi trapezoid dimensi dari trapezoid tersebut didapatkan ketika sudah menghitung jumlah kebutuhan yang diperlukan dalam setahun dengan perhitungan sebagai berikut :

Skenario yang dibuat pada perhitungan ini bertujuan untuk membuat lapangan penumpukan dengan ukuran yang seminimal mungkin dan optimal. Kebutuhan *Stock Pile* didapatkan dari perhitungan *safety stock* dengan rumus sebagai berikut :

$$\text{Safety Stock} = (\text{Demand per hari} \times \text{Lead Time}) + \text{Payload Kapal}$$

$$\text{Safety Stock} = 10.670 \text{ ton}$$

Dari perhitungan tersebut sehingga didapatkan kapasitas *stockpile* yang dibutuhkan yakni :

$$\text{Kapasitas Stockpile yang dibutuhkan} = 10.670 \text{ ton}$$

$$\text{Stowage Factor Stockpile} = 1,4$$

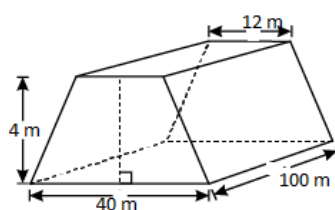
$$\text{Kapasitas Safety Stocpile} =$$

$$\text{Kapasitas Stockpile} \times \text{safety factor}$$

$$\text{Kapasitas Safety Stocpile} = 14.938,245 \text{ ton}$$

Sehingga dari perhitungan tersebut diketahui bahwa pelabuhan Tuban hanya membutuhkan satu *stock pile* dengan satu *stockpile* berkapasitas 15.662 ton.

Dari perhitungan tersebut didapatkan kebutuhan untuk lapangan penumpukan, dengan skenario ketika sisa batu bara yang berada di lapangan penumpukan sisa 1.220 yang didapatkan dari hasil perhitungan *safety stock* di pelabuhan Tuban. Maka kapal sudah harus berangkat dari pelabuhan asal yakni Pelabuhan Taboneo, dengan begitu kebutuhan untuk PLTU Tuban terpenuhi. Berikut desain lapangan penumpukan berdasarkan perhitungan kapasitas *stock pile* diatas.



Gambar 2. Dimensi *Stock Pile*
 Sumber: Peneliti, 2015

Gambar tersebut menunjukkan gambar *stock pile* yang di asumsikan berbentuk trapezoid dengan dimensi sebagai berikut :

$$\text{Sisi 1} = 40 \text{ m}$$

$$\text{Sisi 2} = 12 \text{ m}$$

$$\text{Tinggi} = 4 \text{ m}$$

$$\text{Panjang} = 100 \text{ m}$$

Dari perhitungan tersebut sehingga didapatkan perhitungan untuk kapasitas *stock pile* yakni sebagai berikut :

$$\text{Luas} = 0,5 \times (\text{sisi1} + \text{sisi2}) \times \text{tinggi}$$

$$\text{Luas} = 0,5 \times 52 \times 4$$

$$\text{Luas} = 104 \text{ m}^2$$

Dari luas tersebut kemudian dihitung volume :

$$\text{Volume Bangun} = \text{Luas} \times \text{panjang}$$

$$\text{Volume Bangun} = 104 \times 100$$

$$\text{Volume Bangun} = 10.400 \text{ m}^3$$

Sehingga dari volume tersebut didapatkan kapasitas atau daya tampung *Stock Piles* yakni :

Diketahui :

$$\rho \text{ batubara} = 1.506 \text{ kg/m}^3$$

maka :

$$\text{Kapasitas Stockpile} = \rho \times v$$

$$\text{Kapasitas Stockpile} = 15.662.400 \text{ kg}$$

$$\text{Kapasitas Stockpile} = 15.662 \text{ ton (1 stockpile)}$$

D. Simpulan

Berdasarkan hasil penelitian tersebut dapat disimpulkan bahwa alternatif rute paling optimum yakni alternatif rute 1 dengan pola operasi *port to port* Taboneo – Tuban, Taboneo – Surabaya, Taboneo – Semarang. Kapal yang terpilih yakni kapal 5, dengan jumlah armada kapal yang dibutuhkan sebanyak 2 unit. Total biaya yang ditimbulkan oleh alternatif rute 1 yakni Rp 69.317.386.823/Tahun, dan *unit cost* yang ditimbulkan yakni Rp 132/Ton.Nm.

Muatan terkirim pada masing – masing daerah yakni, Taboneo – Tuban cargo yang terkirim sebesar 180.000 Ton dengan *unit cost* Rp 67.478/Ton, Taboneo – Surabaya cargo yang terkirim sebesar 480.000 Ton dengan *unit cost* Rp 62.206/Ton, dan Taboneo – Semarang cargo yang terkirim sebesar 330.000 Ton dengan *unit cost* Rp 82.765/Ton. Perencanaan dan desain konseptual kapal terdiri dari rencana garis dan rencana umum kapal terpilih dalam model optimasi yaitu kapal memiliki payload 10.500 ton. Total lapangan penumpukan yang dibutuhkan untuk Pelabuhan Tuban berkapasitas 14.398 ton, dengan luas area 4.000 m² yang terletak di bagian Utara Wilayah Tuban Pulau Jawa Timur.

E. Daftar Pustaka

- Amalia, I. R. (2004). *Optimasi Komposisi Kuantum Produksi dengan Menggunakan Metode Linier Programming: Studi Kasus PT. Petrokimia Gresik*. Surabaya: Repository Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- Bazaraa, M. (1990). *Linear Programming and Network Flows*. New Jersey: John Wiley & Sons.
- Bunkerworld. (2015, Agustus 20). *Fuel Prices*. Retrieved from Bunkerworld: www.bunkerworld.com/prices/
- Falastian, J. L. (2017). *Perancangan Distribusi Semen dengan Moda Transportasi Darat di PT. Semen Gresik*. Surabaya: ITS.
- Hellenic Shipping. (2015, Oktober 7). *Tanker Time Charter Estimates*. Retrieved from Hellenic Shipping News: www.hellenicshippingnews.com
- Lewis, I. E. (1988). *Principles of Naval Architecture Second Revision*. Jersey City Nj: The Society of Naval Architects and Marine Engineers 601 Pavonia Avenue.
- Liu, I. S. (2004). The Total Cost Bounds of The Transportation Problem with Varying Demand and Supply. In *Omega Vol.3* (pp. 247-251).
- Puspitasari, P., Iskandar, B. H., & Rahardjo, S. (2016). Model Optimasi Pola Suplai Premium Impor ke Terminal BBM Area Barat (West Cluster) PT. Pertamina Persero. *Warta Penelitian Perhubungan*, 277-286.
- Triatmodjo, B. (2009). *Perencanaan Pelabuhan*. Yogyakarta: Beta Offset.
- Velsink, H. L. (2012). *Ports and Terminals*. Delft: VSSD.
- Willy, I. S. (2011). *Metoda Metaheuristik Konsep dan Implementasi*. Surabaya: Guna Widya.