

# Analisis Penanganan Limbah Minyak di Kawasan Pelabuhan: Tinjauan dari Segi Transportasi Laut

Evan Eryanto, Tri Achmadi

Teknik Perkapalan, Fakultas Teknologi Kelautan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS)

Jl. Arief Rahman Hakim, Surabaya 60111

E-mail: triachmadi@na.its.ac.id

**Abstrak**—Dalam IMO (*International Maritime Organization*) yang dimandatkan dalam konvensi MARPOL 73/78, bahwa setiap pelabuhan harus memiliki fasilitas penanganan limbah (*Port Reception Facilities*) di setiap pelabuhan dengan tujuan untuk mengurangi pencemaran lingkungan akibat buangan limbah dari kapal. Sedangkan Indonesia yang telah meratifikasi peraturan MARPOL 73/78 Annex I, tidak sepenuhnya mematuhi peraturan tersebut yaitu membangun fasilitas penanganan limbah. Ketiadaan fasilitas limbah di pelabuhan tersebut dikarenakan tidak ada dukungan secara finansial dari pengelola pelabuhan. Dalam penelitian ini diberikan solusi penanganan limbah, khususnya limbah minyak dengan konsep transportasi laut. Penanganan tersebut dengan mengangkut limbah minyak menggunakan kapal pengangkut limbah yaitu tongkang minyak propulsi mandiri (*Self Propelled Oil Barge*). Dan membangun tangki penampungan di setiap pelabuhan yang akan dilayani, serta membangun fasilitas penanganan limbah di pelabuhan utama/pelabuhan penumpukan akhir limbah minyak. Perencanaan rute operasi kapal menggunakan konsep *Travelling Salesman Problem* (TSP). Setelah itu, proses optimasi perencanaan tongkang minyak propulsi mandiri ini bertujuan untuk mengetahui ukuran utama tongkang, kecepatan tongkang, dan kecepatan bongkar muat yang optimum (unit biaya terkecil). Dalam proses optimasi dilakukan secara berulang-ulang dengan mengubah *collecting time* (lama waktu penumpukan) limbah minyak. Sehingga didapatkan *collecting time* yang memiliki unit biaya terkecil.

**Kata Kunci**—Pelabuhan, Limbah Minyak, Pengangkutan, dan Penanganan

## I. PENDAHULUAN

INDONESIA merupakan negara kepulauan yang dihubungkan dengan sarana penghubung yaitu pelabuhan. Pelabuhan merupakan tempat atau fasilitas jasa untuk melayani kapal yang datang di area dermaga, termasuk fasilitas penanganan limbah. Pengadaan fasilitas pengelolaan limbah di Pelabuhan merupakan bagian dari pelaksanaan Konvensi Internasional tahun 1973 tentang pencegahan pencemaran dari kapal yang telah dimodifikasi oleh Protokol 1978 yang terkait dalam MARPOL 1973 jo 1978 (MARPOL 73/78) dan telah diratifikasi oleh Pemerintah Indonesia melalui Keputusan Presiden No. 46 Tahun 1986, pada tanggal 9 September 1986. Dan limbah minyak yang berasal dari kapal tersebut harus dikelola di Fasilitas Penanganan Limbah (*Port Reception Facilities*).

Dalam kondisi eksisting hampir pelabuhan di Indonesia

tidak mempunyai fasilitas penanganan limbah. Hal ini disebabkan ketidakadanya dukungan finansial akan pengadaan fasilitas penanganan limbah di setiap pelabuhan Indonesia. Permasalahan lain yang terjadi yaitu terdapat fasilitas penanganan limbah di pelabuhan tetapi tidak didukung dengan biaya operasional yang tepat dalam menjalankan kegiatan operasional penanganan limbah. Setelah Indonesia meratifikasi Peraturan MARPOL 73/78 Annex I, maka setiap pelabuhan di Indonesia harus memiliki fasilitas penanganan limbah sesuai dengan syarat dan peraturan yang diterapkan di Peraturan MARPOL 73/78 dengan tujuan untuk mengurangi pencemaran lingkungan akibat limbah buangan kapal di pelabuhan.

Dalam penelitian ini, timbul solusi untuk menyelesaikan permasalahan finansial dalam pembangunan fasilitas limbah minyak di setiap pelabuhan yaitu dengan penanganan limbah minyak dari segi transportasi laut. Penanganan limbah minyak ini menggunakan moda angkut transportasi laut berupa *self propelled oil barge* (tongkang minyak propulsi mandiri). Pengadaan tongkang ini dimaksudkan untuk mengangkut limbah minyak di setiap pelabuhan yang akan dilayani. Selanjutnya pengangkutan berakhir di pelabuhan penampungan akhir dan selanjutnya akan dikelola di fasilitas penanganan limbah minyak yang akan dibangun di pelabuhan utama/pelabuhan penumpukan akhir. Hasil dari pemisahan limbah akan dijual kepada pemanfaat minyak olahan dari limbah minyak. Dengan adanya solusi dalam penelitian ini maka tidak perlu dalam pengadaan fasilitas pelabuhan di setiap pelabuhan, karena solusi seperti ini sudah mewakili dalam pencegahan pencemaran akibat buangan limbah kapal.

## II. METODE

### A. Tahap Telaah

Penelitian ini dilakukan di beberapa pelabuhan di kawasan Pelabuhan Indonesia III. Pelabuhan tersebut antara lain: Tanjung Emas, Pelabuhan Gresik, Pelabuhan Probolinggo, Tanjung Wangi, Benoa, Lembar, dan Tanjung Perak.

Tahap awal dari penelitian ini adalah menentukan jumlah titik (*node*) pelabuhan yang akan dilayani yaitu terdapat 6 (enam) pelabuhan yang dilayani dan 1 (satu) pelabuhan utama yang menjadi pelabuhan penumpukan akhir limbah minyak yaitu Tanjung Perak. Selanjutnya menentukan estimasi jumlah limbah minyak di setiap pelabuhan yang dilayani. Jumlah

limbah minyak dipengaruhi oleh jumlah kedatangan kapal yang singgah di setiap pelabuhan. Penentuan jumlah kedatangan kapal menggunakan model regresi sederhana [1], yaitu hubungan antara kedatangan kapal dengan muatan kapal. Jumlah limbah minyak merupakan perkalian antara jumlah kedatangan kapal dengan debit limbah setiap jenis kapal. Selanjutnya, merencanakan rute dan pola operasi tongkang minyak propulsi mandiri. Penentuan rute tongkang minyak propulsi mandiri ini menggunakan konsep *Travelling Salesman Problem* (TSP) [2], yaitu konsep penentuan rute dimana ditentukan rute perjalanan terpendek untuk melewati sejumlah kota dengan jalur tertentu sehingga setiap kota hanya terlewati satu kali dan perjalanan diakhiri dengan kembali ke kota semula, dengan fungsi tujuan yaitu total waktu atau biaya yang minimal. Berikut adalah model matematika dari TSP:

$$x_{ij} \begin{cases} 1, \text{ bila kota } j \text{ dikunjungi daota } i \\ 0, \text{ bila tidak} \end{cases}$$

Apabila  $d_{ij}$  adalah jarak dari kota I ke kota j, model matematika TSP adalah:

*Objective Function:*

$$\text{Minimize } z = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n d_{ij} x_{ij} \quad (1)$$

*Subject to:*

$$\sum_{j=1}^n x_{ij} = 1, i = 1,2,3,\dots,n \quad (2)$$

$$\sum_{i=1}^n x_{ij} = 1, j = 1,2,3,\dots,n \quad (3)$$

$$x_{ij} = (1,0) \quad i, j = 1,2,\dots,n$$

Selanjutnya menentukan pola operasi dan perencanaan dari tongkang minyak propulsi mandiri ini. Pada penentuan pola operasi tongkang yang harus diperhatikan adalah spesifikasi teknis dari alat angkut dan tangki penampungan serta tangki penanganan. Spesifikasi teknis tersebut yaitu kecepatan tongkang minyak propulsi mandiri, kecepatan alat bongkar muat, ukuran tangki panampungan disetiap titik pelabuhan yang akan dilayani, dan ukuran tangki penanganan yang terletak di palabuhan utama. Penentuan pola operasi juga memperhatikan *collecting time* (lama waktu penumpukan), dimana akan divariasikan dan didapatkan pola operasi yang memiliki *collecting time* optimum (unit biaya terkecil). Kemudian menentukan perencanaan tongkang propulsi mandiri yaitu menentukan ukuran utama, kecepatan alat bongkar muat, dan kecepatan tongkang minyak propulsi mandiri. Perencanaan ini menggunakan model optimasi *GRG Non-Linear* [3]. Dalam perencanaan ini harus memperhatikan fungsi tujuan dalam proses optimasi yaitu unit biaya terkecil dari perencanaan tongkang minyak propulsi mandiri ini. Berikut adalah model optimasi perencanaan tongkang [4]:

*Parameter Optimasi Desain:*

- Payload (jumlah muatan yang diangkut)
- Jumlah anak buah kapal (ABK)
- Hari operasi
- Bunga tahunan
- Nilai tukar rupiah
- Harga-harga (harga bahan bakar, harga pelumas, dan harga material pembangunan tongkang)

*Konstanta Optimasi Desain:*

- Massa jenis air laut

- Massa jenis air tawar
- Berat jenis bahan bakar dan minyak lumpur
- Gaya Gravitasi

*Batasan Optimasi Desain:*

- Stabilitas  
Syarat-syarat stabilitas [5] kapal digunakan untuk mengetahui kelayakan stabilitas kapal. Rumusan matematikanya adalah:

$$MG^0 \geq 0.15 \text{ m} \quad (4)$$

$$Ls^{30} \geq 0.2 \text{ m} \quad (5)$$

$$\Phi Ls_{\max} \geq 25^0 \quad (6)$$

$$Ld^{30} \geq 0.055 \text{ m.rad} \quad (7)$$

$$Ld^{40} \geq 0.090 \text{ m.rad} \quad (8)$$

$$GZ^{30-40} \geq 0.03 \text{ m.rad} \quad (9)$$

Dimana:

$MG^0$  = Jarak metasenter ke pusat beban pada sudut  $0^0$  (m)

$Ls^{30}$  = Lengan statis pada sudut oleng  $> 30^0$  (m)

$\Phi Ls_{\max}$  = Sudut kemiringan pada  $Ls$  maksimum (deg)

$Ld^{30}$  = Lengan dinamis pada  $30^0$  (m.rad)

$Ld^{40}$  = Lengan dinamis pada  $40^0$  (m.rad)

$GZ^{30-40}$  = Luas Kurva GZ antara  $30^0 - 40^0$  (m.rad)

- Freeboard  
Batasan mengenai freeboard (lambung timbul) dijelaskan dalam regulasi [6].
- Gaya Apung/Hukum fisika  
Batasan untuk gaya apung atau hukum fisika ini diberikan toleransi antara -0,5% sampai 0,5%. Rumusan matematikanya adalah [4]:

$$99.5\%w \leq \Delta \leq 100.5\%w \quad (10)$$

Dimana:

w = Berat kapal kondisi muatan penuh (ton)

$\Delta$  = Displacement kapal (ton)

- Kondisi Trim  
Selisih sarat depan dan belakang kapal dalam kondisi muatan penuh. Batasan yang diberikan 0% sarat kapal sampai 0,5% sarat kapal. Rumusan matematikanya adalah [4]:

$$0\%T \leq Ta - Tf \leq 0.5\%T \quad (11)$$

Dimana:

T = Sarat kapal kondisi muatan penuh (m)

Ta = Sarat buritan (m)

Tf = Sarat haluan (m)

- Kapasitas atau Ruang Muat Kapal  
Batasan yang diberikan adalah 100% dari kebutuhan sampai 110% dari kebutuhan. Rumusan matematikanya adalah [4]:

$$100\%P \leq Hc \leq 110\%P \quad (12)$$

Dimana:

P = Payload (ton)

Hc = Hold capacity (kapasitas muat kapal)

*Fungsi Tujuan Optimasi Desain:*

Minimal unit biaya pengangkutan limbah minyak menggunakan tongkang propulsi mandiri, dengan batasan yang dijabarkan di atas dengan memvariasikan *collecting time*,

untuk menentukan  $Q_{x, opt}$  (perasig optimum (unit biaya terecil). Rumusan matematisnya:

$$\min u = \sum_{x=1}^n \frac{C_{cx} + V_{cx} + O_{cx}}{Q_x} \quad (13)$$

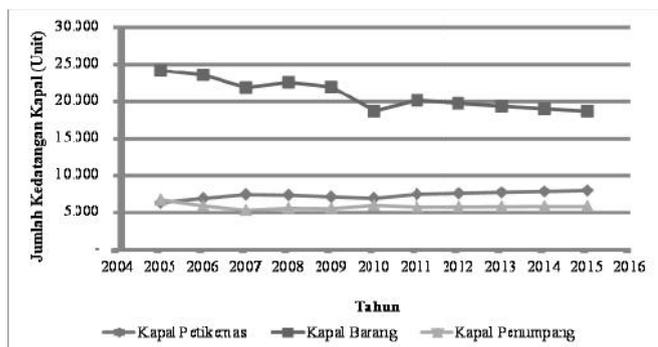
Dimana:

- $X$  = Collecting time dari 6-10 hari
- $u$  = Unit biaya produksi (rupiah/liter)
- $C_{cx}$  = Capital cost untuk collecting time ke -x
- $V_{cx}$  = Voyage cost untuk collecting time ke -x
- $O_{cx}$  = Operational cost untuk collecting time ke -x
- $Q_x$  = Jumlah limbah minyak tahun pertama (liter)

### III. HASIL DAN PEMBAHASAN

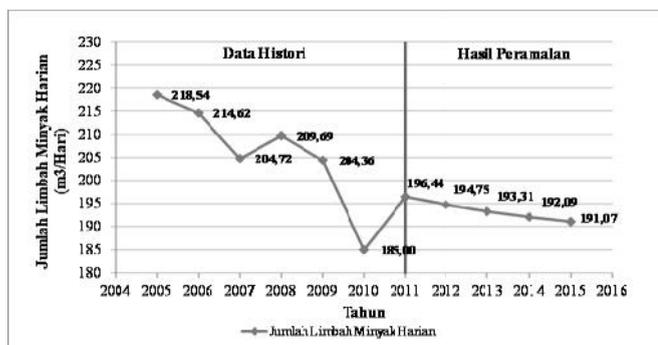
#### A. Estimasi Jumlah Limbah Minyak

Estimasi jumlah limbah minyak dipengaruhi oleh jumlah kedatangan kapal di setiap pelabuhan. Dan kedatangan kapal dipengaruhi oleh jumlah muatan di kapal. Gambar 1. Menunjukkan peramalan jumlah kedatangan kapal di pelabuhan. Peramalan jumlah kedatangan kapal petikemas di pelabuhan mengalami kenaikan. Peramalan jumlah kedatangan kapal barang mengalami penurunan dikarenakan jumlah muatan barang yang juga mengalami penurunan. Dan peramalan jumlah kedatangan kapal penumpang mengalami kenaikan tetapi tidak terlalu drastis.



Gambar 1. Peramalan Jumlah Kedatangan Kapal di Pelabuhan Indonesia III.

Dengan kondisi jumlah kedatangan setiap jenis kapal pada Gambar 1, maka jumlah pertumbuhan limbah minyak di pelabuhan juga mengalami kondisi seperti jumlah kedatangan kapal, tetapi penurunan dan kenaikan jumlah limbah tidak terlalu drastis, dikarenakan besar ukuran kapal (DWT) di setiap pelabuhan yang berbeda-beda.



Gambar 2. Jumlah Limbah Minyak Harian dalam Setiap Tahun.

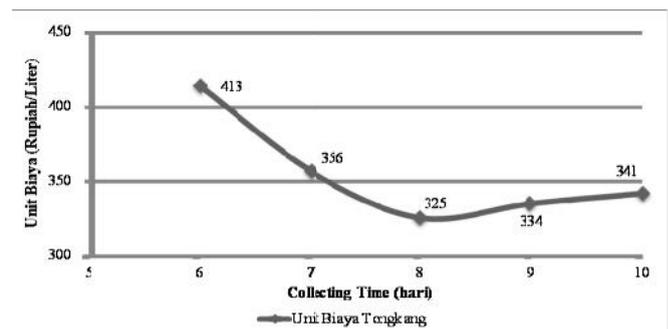
Gambar 2 menunjukkan jumlah limbah minyak harian dalam setiap tahun, dimana jumlah minyak harian terbesar yaitu pada tahun 2011 yang akan digunakan sebagai jumlah permintaan yang diangkut (payload) di setiap pelabuhan yang akan dilayani dengan tongkang minyak propulsi mandiri.

#### B. Perencanaan Rute

Perencanaan rute menggunakan konsep *Travelling Salesman Problem*, dengan memilih pelabuhan utama yaitu Tanjung Perak. Dan didapatkan urutan perjalanan dari tongkang tersebut, dimulai pada Tanjung Perak → Pelabuhan Probolinggo → Tanjung Wangi → Benoa → Lembar → Tanjung Emas → Pelabuhan Gresik → Tanjung Perak. Dengan total jarak terpendek yaitu 897 Mil Laut.

#### C. Perencanaan Tongkang Minyak Propulsi Mandiri

Dalam proses optimasi desain tongkang minyak propulsi mandiri didapatkan ukuran utama, kecepatan alat bongkar muat, dan kecepatan tongkang optimum (unit biaya terkecil). Proses optimasi tersebut divariasikan dengan *collecting time* (lama waktu penumpukan). Sehingga didapatkan unit biaya yang bervariasi ukuran kapal yang bervariasi sesuai dengan variasi *collecting time* pada Gambar 3.



Gambar 3. Pengaruh *Collecting Time* Terhadap Unit Biaya Tongkang Minyak Propulsi Mandiri.

Hasil optimasi dari variasi *collecting time* pada grafik di atas menunjukkan perilaku grafik dari unit biaya tongkang cenderung membentuk parabola. Pada grafik unit biaya yang memiliki unit biaya terkecil ditunjukkan pada *collecting time* 8 (delapan) hari dengan unit biaya sebesar Rp. 325,-/liter. Dan unit biaya tertinggi ditunjukkan pada *collecting time* 6 (enam) hari dengan unit biaya sebesar Rp. 413,-/liter, hal ini dikarenakan kecepatan dinas yang digunakan untuk tongkang pada *collecting time* 6 hari adalah 7,89 (Tabel. 1), yang berakibat konsumsi bahan bakar pada tongkang besar dan ukuran mesin penggerak yang digunakan juga besar. Hal ini mempengaruhi biaya bahan bakar, biaya operasional, dan biaya pembangunan pada saat tongkang minyak propulsi mandiri ini. Sehingga dipilih tongkang minyak propulsi mandiri pada *collecting time* 8 hari untuk mengangkut limbah minyak dengan  $L_{pp}$  (panjang)= 38,35 meter,  $B$  (lebar)= 8,44 meter,  $H$  (tinggi)= 4,39 meter,  $T$  (sarat)= 3,38 meter,  $V_d$  (kecepatan dinas)= 6 knot, dan  $V_{bm}$  (kecepatan bongkar muat)= 99 m<sup>3</sup>/jam dengan unit biaya Rp. 325,-/liter dapat dilihat pada Tabel 1.

- [5] IMO, "Code On Intact Stability For All Types Of Ships,"IMO (2002)12-13.  
 [6] IMO, "International Convention On Load Lines,"IMO (2005).

Tabel 1  
 Ukuran Utama Tongkang Minyak Propulsi Mandiri

Item	Collecting Time (Hari)				
	6	7	8	9	10
Payload (Ton)	<b>519</b>	605	691	778	864
Panjang Tongkang (m)	<b>40,68</b>	39,08	38,35	38,30	38,32
Lebar Tongkang (m)	<b>7,86</b>	8,27	8,44	9,11	9,06
Tinggi Tongkang (m)	<b>3,42</b>	3,91	4,39	4,56	5,00
Sarat Tongkang (m)	<b>2,81</b>	3,07	3,38	3,48	3,82
Kecapatan Dimas (Knot)	<b>7,85</b>	6,70	6	6	6
<b>Kecapatan Bongkar Muat (m<sup>3</sup>/jam)</b>	<b>150</b>	<b>150</b>	<b>99</b>	<b>40</b>	<b>27</b>
Unit Biaya Tongkang (Rp/liter)	413	356	325	334	341

#### IV. KESIMPULAN/RINGKASAN

Penelitian ini dapat disimpulkan bahwa estimasi jumlah limbah minyak mengalami penurunan dari tahun ke tahun yaitu dapat dilihat pada jumlah limbah minyak harian dalam setiap tahunnya. Perencanaan rute perjalanan dipilih dalam proses optimasi pemilihan rute yang optimum (jarak terpendek) yaitu Tanjung Perak (Pelabuhan Utama)-Pelabuhan Probolinggo-Tanjung Wangi-Benoa-Lembar-Tanjung Emas-Pelabuhan Gresik-kembali ke Tanjung Perak, dengan jarak total terdekat yaitu 897 mil laut. Rute tersebut digunakan tongkang minyak propulsi mandiri untuk mengangkut limbah minyak sesuai dengan permintaan angkut setiap pelabuhan, dengan collecting time (lama waktu penumpukan) limbah minyak yang optimum yaitu 8 (delapan) hari dengan ukuran tongkang yaitu Lpp (panjang)= 38,35 meter, B (lebar)= 8,44 meter, H (tinggi)= 4,39 meter, T (sarat)= 3,38 meter, Vd (kecepatandinas)= 6 knot, dan  $V_{bm}$  (kecepatanbongkatmuat)= 99 m<sup>3</sup>/jam dengan unit biayaRp. 325,-/liter.

#### UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis EE menyampaikan terima kasih kepada Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya yang telah memberikan fasilitas berupa sarana dan prasarana pendidikan. Penulis juga berterima kasih kepada keluarga, dosen pembimbing, dan dosen pengajar dalam pengerjaan penelitian ini, para dosen Jurusan Teknik Perkapalan, teman-teman, dan beberapa pihak yang terkait dengan pekerjaan penelitian ini.

#### DAFTAR PUSTAKA

- [1] Supranto, J., "Statistik Teori dan Aplikasi,"Edisi Keenam. Jilid I, Jakarta: Erlangga (2000) 174-176.  
 [2] Jiang, C., "A Reliable Solver of Eucliden Travelling Salesman Problems with Microsoft Excel Add-in Tools for Small-size System," *Journal of Software* (2010) 761-768.  
 [3] Dharma, B., "Analisis Teknis dan Ekonomis Perencanaan Self Propelled Coal Barge 5000 DWT untuk Perairan Sungai di Kalimantan,"Surabaya: Jurusan Teknik Perkapalan,FTK.ITS (2009).  
 [4] Wicaksana, A.P., "Desain Konseptual Kapal Desalinasi untuk Wilayah Kepulauan,"Surabaya: Jurusan Teknik Perkapalan,FTK.ITS (2012).