

ANALISIS TEKNIS dan EKONOMIS PERANCANGAN WATER BALLAST TREATMENT METODA FILTRATION + UV pada KAPAL TRANSKO AQUILA 3592 DWT

Rifat Al Farid¹, Imam Pujo Mulyatno¹, Kiryanto¹, Andi Trimulyono¹, Ari Wibawa Budi Santosa¹

¹Departemen Teknik Perkapalan, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro
Jl. Prof. Soedarto, SH, Kampus Undip Tembalang, Semarang, Jawa Tengah, Indonesia 50275
Email: rifat@student.undip.ac.id

Abstrak

Proses pertukaran air *ballast* dapat menyebabkan pencemaran lingkungan laut dengan berpindahnya mikroorganisme dari lingkungan awal ke lingkungan baru. Oleh karena itu, IMO (*International Maritime Organization*) mewajibkan semua kapal pelayaran memiliki sistem *water ballast management* yang sesuai standar regulasi *International Convention for the Control and Management of Ships's Ballast Water and Sediments* pada tahun 2024. Selain memenuhi regulasi, penelitian ini bermanfaat untuk kemajuan industri pelayaran. Hal ini akan diterapkan pada *water ballast system* kapal Transko Aquila milik PT Pertamina Trans Kontinental. Dari bermacam-macam metode pengolahan air *ballast* diambil metode *filtration + UV* karena lebih efektif dalam membunuh mikroorganisme laut. Penelitian ini dilakukan dengan analisa teknis perhitungan total *head* dengan penambahan mesin *water ballast treatment* untuk menentukan apakah perlu dilakukannya pergantian pompa *ballast*. Selain itu untuk analisa ekonomis dilakukan perhitungan dengan metode *activity based costing* yang merupakan perhitungan biaya menurut aktivitas yang dilakukan. Disimpulkan bahwa berdasarkan analisa teknis dihasilkan *head* sebesar 19,11 m dengan pompa FRAMO VH150/200 debit 350 m³/h tanpa ada pergantian pompa *ballast*, serta pada analisa biaya dibutuhkan biaya sebesar Rp8.632.117.983,00.

Kata Kunci: *Water Ballast Diagram System*, IMO, Pompa *Ballast*, *Activity Based Costing*

Abstract

The water ballast exchange process can cause environmental concerns by the transfer of microorganisms from an initial event to a new one. In consequence, IMO (International Maritime Organization) requires all ships to have a water ballast management system according to the regulation of the International Convention for the Control and Management Ship's Ballast Water and Sediments in 2024. This regulation will be applied to the water ballast system in PT Pertamina Trans Kontinental ship which is MT. Transko Aquila. Filtration + UV is an effective method to kill sea microorganisms. This study was carried out with a full technical analysis of the head's calculations with the addition of water ballast treatment to determine if any replacement ballast pump should be taken. Additionally, economic analysis is done with a calculation of the activity-based costing method, which is a cost calculation according to the activity undertaken. It is concluded that the technical analysis of the head produced 19.11 m with the FRAMO HV150/200 discharge pump 350 m³/h without any ballast pump changes, and the cost analysis required a cost of Rp8.632.117.428,00.

Keywords: *Water Ballast Diagram System*, IMO, *Ballast Pump*, *Activity Based Costing*

1. PENDAHULUAN

Ballast merupakan aspek yang penting dalam pembangunan kapal yang berfungsi untuk menyeimbangkan kapal agar kapal tidak trim dan stabil dalam proses bongkat muat ketika berada di pelabuhan. Sistem air *ballast* merupakan sebuah sistem di kapal yang bekerja untuk mengisi tangki *ballast* pada kapal. Sistem ini sangat penting dikarenakan air *ballast* dapat membuat kapal seimbang dengan stabilitas kapal dapat dipertahankan dan menyesuaikan drajat kemiringan *draft* kapal [1].

Dalam proses berlayarnya kapal dari satu

tempat ke tempat lain perlu dilakukannya proses pertukaran air *ballast*. Proses pertukaran ini dilakukan dengan cara membuang air *ballast* yang diambil dari lingkungan asal ke lingkungan yang baru. Hal ini dapat menyebabkan permasalahan serius untuk lingkungan laut, dikarenakan karakteristik ekosistem laut dari sebuah negara terdapat perbedaan dari segi mikroorganisme, bakteri, hewan laut, dan juga tumbuhan laut yang dapat menyebabkan ancaman terhadap lingkungan.

Oleh karena itu, IMO (*International Maritime Organization*) mengeluarkan regulasi dalam hal manajemen air *ballast*

melalui *International Convention for the Control and Management of Ship's Ballast Water and Sediments* (BWM) yang bertujuan mencegah penyebaran organisme air yang berbahaya dari satu daerah ke daerah lainnya. Dibawah konvensi ini, semua kapal pelayaran internasional dalam melakukan kegiatan ekspor impor wajib memiliki sistem *Ballast Water Management* (BWM) sesuai standar pada tahun 2024.

Kegiatan pencegahan air *ballast* agar tidak mencemari lautan adalah dengan cara *Ballast Water Exchange* (BWE) sesuai regulasi B-4 *International Convention for the Control and Management of Ship's Ballast Water and Sediments* yaitu dengan mencuci air *ballast* sebanyak tiga kali dalam jarak sekurang kurangnya 200 *nautical mile* dari darat dengan kedalaman laut minimal 200 meter [2]. Tetapi metode ini dinilai tidak efektif karena memiliki kelemahan, yaitu sedimen yang ada di dasar tangki *ballast* sulit dihilangkan, organisme yang menempel pada sisi tangki *ballast* tidak bisa dikeluarkan, dan tidak bisa melakukan pembilasan apabila terjadi badai besar selama pelayaran. Oleh karena itu metode ini diganti dengan metode lain.

Metode tersebut adalah penambahan alat *Ballast Water Treatment*, yaitu proses pembersihan air *ballast* menggunakan mesin *treatment* yang menghasilkan keluaran air *ballast* yang bersih dan tidak mengandung organisme laut yang membahayakan. Pada mesin *water ballast treatment* terbagi oleh tiga metode pengolahan, yaitu mekanik, fisik, dan juga kimia. Dalam pengolahannya macam-macam metode tersebut tidak bisa bekerja sendiri dan perlu adanya kombinasi.

Pada penelitian ini penulis mengambil kombinasi filtrasi dan *ultraviolet* yang merupakan gabungan metode fisik dan mekanik. Penelitian sebelumnya menjelaskan bahwa metode terbaik dalam pengolahan air ballas adalah metode filtrasi + *ultraviolet*. Penelitian tersebut dilakukan menggunakan metode *scoring* dengan pertimbangan sistem berdasarkan efisiensi pemusnahan, jejak

mudah hilang, kesederhanaan sistem, keamanan terhadap kru kapal, dan ramah lingkungan dengan nilai 1 adalah nilai yang rendah dan 4 merupakan nilai tertinggi [3].

Penelitian lainnya menjelaskan bahwa sistem *filtration* dapat menyaring organisme secara ampuh dengan ukuran 25-50 μm dibandingkan dengan *hydrocyclone* dengan ukuran $>20 \mu\text{m}$. Metode pengolahan air ballas dengan *ultraviolet* efektif membunuh *zooplankton*, *phytoplankton*, dan bakteri dengan ukuran $<50 \mu\text{m}$. Kombinasi pengolahan air *ballast filtration* + uv dinilai efektif dalam menghasilkan keluaran air ballast yang bersih. Kombinasi ini terbukti dapat membunuh bakteri dengan presentase 87% dan 93% *chlorella* [4]. Analisa pada metode kombinasi pengolahan air ballast menjelaskan bahwa metode *filtration* + uv merupakan metode yang sangat efisien dalam membunuh mikroorganisme yang terkandung di air *ballast*. Penelitian ini berdasarkan perbandingan dari beberapa metode dari segi kemampuan disinfeksi, biaya *maintenance*, biaya operasional, dan keselamatan [5].

Selain itu, terdapat penelitian yang menjelaskan bahwa pengolahan air *ballast filtration* + uv adalah opsi terbaik karena proses instalasi dan perawatan yang mudah, dan tidak membutuhkan ruang yang luas dalam penempatannya. Metode yang dilakukan pada penelitian ini yaitu studi pustaka yang terdiri dari penjelasan teoritis yang mendalam mengenai manajemen air *ballast*. *Clean Ship Solutions Company* merupakan perusahaan pelayaran laut besar di Skotlandia yang bertugas membantu pemilik kapal dalam mengurangi dampak lingkungan laut yang bertanggung jawab atas kapal *tanker* Maersk, P&O Ferries, Northern Marine Ferries mengungkapkan presentase penggunaan metode *water ballast treatment* yang mereka pakai. Dari total keseluruhan 100% perusahaan tersebut memakai metode *filtration* + uv menempati peringkat pertama dengan presentase sebesar 45%, dilanjutkan dengan metode *filter* + *electrolysis* sebesar 28%, *deoxgenation* 7%, *ozone* 5%, *chemical*

5%, *mobile* 5%, dan lainnya sebesar 5%. Tujuan dari perbandingan tersebut adalah untuk membedakan sistem mana yang terbaik dalam hal keramahan lingkungan dan efisiensi kapal [6].

Untuk mempersiapkan *ballast water management* pada pelayaran pada tahun 2024, maka perlu dipasang mesin *water ballast treatment* pada kapa *tanker* Transko Aquila. Kapal ini merupakan kapal milik PT Pertamina Trans Kontinental dengan panjang 93 m dan lebar 14,4 m yang dibangun pada tahun 2001 yang belum memiliki sistem *water ballast treatment* didalamnya. Selain itu aspek biaya juga perlu dipertimbangkan dalam pemasangan mesin *treatment* ini agar sesuai dengan anggaran perusahaan.

Tujuan dari penelitian ini adalah menambah rancangan *water ballast treatment* pada kapal Transko Aquila, menganalisa pengaruh adanya penambahan mekanisme *water ballast treatment* terhadap *head* tekanan pompa *ballast* yang sudah ada, dan mengetahui biaya yang dibutuhkan untuk pemasangan *water ballast treatment* pada kapal *tanker* Transko Aquila. Hasil penelitian ini dapat menjadi acuan penambahan ilmu tentang perancangan *water ballast treatment* dan biaya pada manajemen perkapalan.

2. METODE

2.1 Objek Penelitian

Objek pada penelitian ini adalah kapal *tanker* Transko Aquila milik PT Pertamina Trans Kontinental. Data pendukung pada penelitian Tugas Akhir ini adalah :

- *General Arrangement*
- *Engine Room Layout*
- *Water Ballast Diagram System*
- *Ballast Pump Capacity*
- *Ballast Tank Capacity*

Adapun data ukuran utama kapal yang dipakai pada penelitian ini ada pada tabel 1.

Tabel 1. Ukuran Utama Kapal

Data	Nilai	Satuan
LOA	92.89	m
LPP	83.50	m
<i>Breadth</i> (B)	14.40	m
<i>Depth</i> (D)	7.00	m
<i>Draft</i> (T)	5.80	m
DWT	3592	ton
GT	2764	ton

Pada tabel 1 dilampirkan data ukuran utama kapal Transko Aquila yang digunakan sebagai objek penambahan mesin *water ballast treatment*. Selain itu, dasar teori pada penelitian ini adalah :

- Jurnal dan buku
- Peraturan klasifikasi BKI
- *International Convention for the Control and Management of Ship's Ballast Water and Sediments* dari IMO

2.2 Variabel Penelitian

Fokus pada penelitian ini adalah hasil dari analisa teknis dan ekonomis yang akan digunakan untuk penambahan mesin *water ballast treatment* pada kapal Transko Aquila. Variabel penelitian ini adalah :

- Perancangan sistem *ballast* yang terpasang *water ballast treatment* pada kapal Transko Aquila 3592 DWT.
- Perhitungan biaya pemasangan *water ballast treatment* pada kapal Transko Aquila 3592 DWT

2.3 Pemilihan Produk dan Desain Sistem *Water Ballast Treatment*

Pada tahap ini membuat desain sistem *water ballast treatment* pada kapal Transko Aquila dan menentukan produk yang tepat sesuai pertimbangan debit pompa *ballast* dan lain-lain.

2.4 Analisa Teknis

Pada tahap ini dilakukan analisa teknis dengan menghitung total *head* pada

penambahan *water ballast treatment*. Besar kecilnya total *head* akan disesuaikan dengan *head* pompa *ballast* yang sudah ada yang akan menentukan diperlukannya pergantian pompa *ballast* atau tidak.

2.5 Analisa Ekonomis

Pada tahap ini dilakukan perhitungan biaya dalam pemasangan *water ballast treatment* metode *filtration* + uv. Perhitungan biaya dilakukan dengan metode *activity based costing*, yaitu skema perhitungan tarif atas kegiatan yang ada di perusahaan [7]. Sistem penentuan biaya pokok yang berfokus pada kegiatan yang dilakukan untuk menghasilkan produk atau jasa [8].

2.5.1. Nonmanufacturing Costs

Biaya non manufaktur adalah biaya yang dikeluarkan di luar pabrik atau produksi. Biaya ini meliputi :

- Biaya penjualan
- Biaya administrasi

2.5.2. Manufacturing Costs

Biaya manufaktur adalah biaya untuk membuat atau memproduksi suatu barang. Biaya ini meliputi :

- Biaya material
- Biaya tenaga kerja
- Biaya *overhead*

Pada metode *activity based costing* biaya manufaktur dan non manufaktur termasuk dalam keseluruhan perhitungan biaya, bukan hanya biaya manufaktur yang diperhitungkan.

2.5.3. Aktivitas dalam Sistem Activity Based Costing

Perhitungan biaya sistem ABC tergantung pada kegiatan yang dilakukan dalam proses produksi, maka dari itu perusahaan perlu mengklasifikasikan seluruh aktivitas berdasarkan bagaimana aktivitas

tersebut mengkonsumsi sumber daya. Pengklasifikasian ini terbagi pada beberapa tingkatan yang dapat memudahkan perhitungan. Tingkatan aktivitas dalam sistem ABC terbagi sebagai berikut :

- Aktivitas tingkat *unit*
- Aktivitas tingkat *batch*
- Aktivitas tingkat produk
- Aktivitas tingkat fasilitas

Perhitungan biaya yang diperlukan dalam proses pemasangan *water ballast treatment* metode *filtration* + uv. Perhitungan biaya dilakukan dengan mengalokasikan biaya langsung dan tidak langsung ke beberapa aktivitas, menghitung tarif per unit dari setiap alokasi biaya yang digunakan untuk mengalokasikan biaya tidak langsung ke produk, kemudian menghitung total biaya dengan menambahkan semua biaya langsung dan tidak langsung.

2.5.4. Alat dan Bahan

Alat yang digunakan pada penelitian ini adalah menggunakan laptop dengan spesifikasi sebagai berikut :

- OS : Windows 10 64-Bit
- Processor : Intel Core i5 7th Gen
- RAM : 4 GB

Dengan *software* yang digunakan adalah *AutoCAD* dan *Microsoft Excel*.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Pemilihan Brand Mesin Water Ballast Treatment

Dalam pemilihan *water ballast treatment* data yang diperlukan adalah pompa *ballast* yang sudah terpasang di kapal. Nilai debit untuk mesin *water ballast treatment* di sesuaikan dengan debit pompa *ballast* yang sudah ada. Selain itu, disesuaikan dengan kapasitas generator yang sudah ada. Berikut spesifikasi pompa *ballast* pada kapal Transko Aquila.

- Ballast Pump : FRAMO VH150/200
- Tipe : *Vertical Centrifugal Self-*

Priming

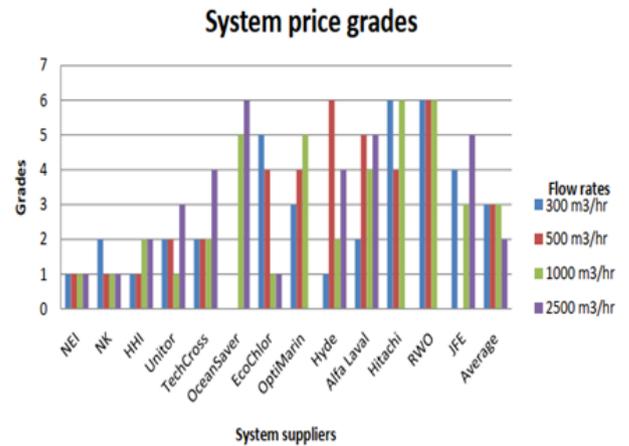
- Jumlah : 2 Set
- Debit : 350 m³/h

Penelitian yang dilakukan di *Norwegian University of Science and Technology* menjelaskan ada 5 faktor yang dibutuhkan dalam penentuan mesin *water ballast treatment*. Penelitian ini menggunakan metode KPI (*Key Performance Indicator*) dengan menganalisa teknis pada data yang didapat dari kuesioner yang diisi perusahaan KGJS (*Kristian Gerhard Jebsen Skipsrederi*) yang merupakan perusahaan manajemen pelayaran Norwegia [9]. Adapun 5 aspek tersebut ada pada tabel 2.

Tabel 2. *Key Performance Indicator*

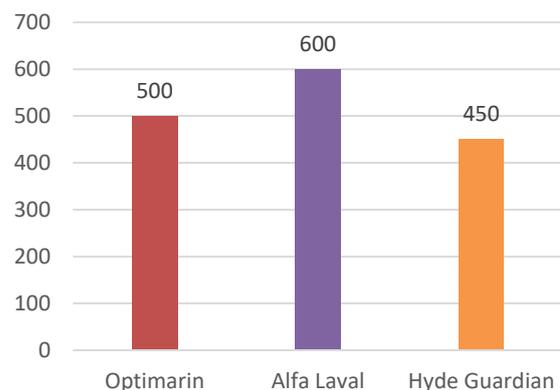
KPI	Importance	Description
Power Requirement	20%	System required power
Footprint	10%	Comparative grade
Pressure Loss	20%	Caused by installing treatment system
Required Inlet Pressure	10%	Minimum required pressure at system inlet
Investment Cost	40%	Comparative grade

Dari tabel 2 diperoleh bahwa biaya merupakan presentase terbesar dalam pemilihan mesin pengolahan air *ballast* dengan mendapatkan presentase sebesar 40%. Selanjutnya dilakukan perbandingan biaya masing-masing perusahaan pembuat mesin .pengolahan air *ballast*. Dari beberapa perusahaan, dihasilkan grafik pada gambar 1.



Gambar 1. Perbandingan Harga *Water Ballast Treatment*

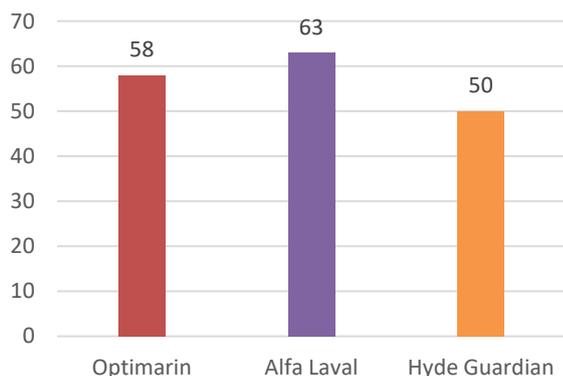
Pada gambar 1 terdapat beberapa perusahaan yang memproduksi mesin *water ballast treatment* dengan berbagai macam metode pengolahan seperti metode *ultraviolet*, *deoxygenation*, *ozone*, dan *electrolysis* dengan aliran debit bervariasi. Nilai skor 1-6 menunjukkan biaya dengan nilai 1 menunjukkan biaya mesin *water ballast treatment* termurah, dan skor 6 dengan biaya termahal. Perusahaan yang memakai metode *ultraviolet* dalam pengolahan air *ballast* adalah *Optimarin* dengan skor 4, *Alfa Laval* dengan skor 5, dan *Hyde Guardian* dengan skor 6. Selanjutnya dilakukan perbandingan berdasarkan spesifikasi dari masing-masing produk.



Gambar 2. Perbandingan *Flow Rate Water Ballast Treatment*

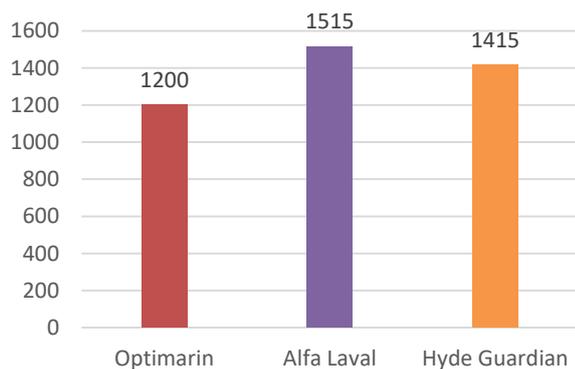
Pada gambar 2 dapat dilihat bahwa *Hyde Guardian* memiliki *flow rate* yang optimal

dengan 450 m³/h, Optimarin sebesar 500 m³/h dan Alfa Laval sebesar 600 m³/h. Laju aliran yang sesuai diperlukan karena sistem UV dirancang pada masing-masing perangkat disesuaikan dengan debit melalui alat. Energi UV dilepaskan untuk menonaktifkan DNA dari mikroorganisme.



Gambar 3. Perbandingan Konsumsi Daya Mesin *Water Ballast Treatment*

Pada gambar 3 dapat disimpulkan bahwa Hyde Guardian memiliki konsumsi daya yang paling kecil dibandingkan dengan mesin pengolahan air *ballast* yang lain dengan nilai 50 kW, Optimarin sebesar 58 kW, dan Alfa Laval sebesar 63 kW. Konsumsi daya yang dipakai harus disesuaikan dengan kecukupan daya yang tersedia dari generator.



Gambar 4. Perbandingan Berat Mesin *Water Ballast Treatment*

Pada gambar 4 menjelaskan bahwa Optimarin memiliki berat yang lebih ringan dibandingkan mesin pengolahan air *ballast* lainnya dengan berat 1200 kg, Alfa Laval sebesar 1515 kg, dan Hyde Guardian sebesar

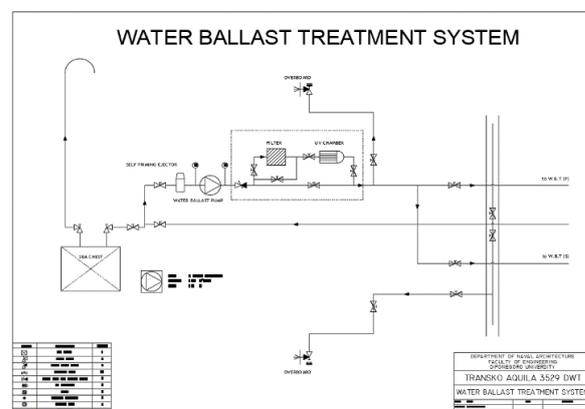
1415 kg. Peralatan yang terlalu berat dapat mengganggu kestabilan dan struktur kekuatan kapal.

Tabel 3. *Approved by Classification*

Optimarin	Alfa Laval	Hyde Guardian
LR <i>Approved</i>	IMO <i>Approved</i>	IMO <i>Approved</i>
BV <i>Approved</i>	USCG <i>Approved</i>	USCG <i>Approved</i>
ABS <i>Approved</i>		LR <i>Approved</i>
DNV GL <i>Approved</i>		ABS <i>Approved</i>
USCG <i>Approved</i>		DNV GL <i>Approved</i>

Pada tabel 3 dijelaskan bahwa masing-masing produk disetujui biro klasifikasi dan IMO (*International Maritime Organization*) selaku organisasi maritim dunia. Melihat pertimbangan yang ditentukan, mesin pengolahan air *ballast* yang sesuai untuk dipasang adalah Hyde Guardian *Ballast Water Treatment* dikarenakan memiliki debit yang tidak begitu jauh dari debit pompa *ballast* yang sudah ada. Selain itu mesin ini sudah disetujui oleh IMO (*International Maritime Organization*) sebagai organisasi maritim dunia untuk dipakai berlayar secara internasional.

3.2 Diagram Proses *Water Ballast Treatment System*



Gambar 5. Sistem Pengolahan Air *Ballast* Kapal Transko Aquila

Pada proses *ballasting*, air laut dipompa dan dialirkan ke sistem filtrasi untuk proses penyaringan, dilanjutkan masuk ke *uv chamber* untuk proses pembunuhan mikroorganisme menggunakan sinar *uv*, kemudian air laut dapat dialirkan ke tangki-tangki kapal. Kemudian pada proses *deballasting*, air laut yang berada di dalam tangki dihisap untuk dikeluarkan ke *overboard* melalui proses *uv chamber* terlebih dahulu untuk pembasmian mikroorganisme kedua kalinya untuk memastikan keluaran air yang bersih tanpa menyebabkan pencemaran laut.

3.3 Perhitungan Waktu Proses *Ballasting-Deballasting*

Dari data yang dikumpulkan, diketahui waktu yang dibutuhkan untuk proses *ballasting* dan *deballasting* adalah sebagai berikut :

$$Q = \frac{V}{t} \tag{1}$$

$$t = \frac{V}{Q}$$

dimana Q merupakan debit (m³/h), t merupakan waktu (h), dan V merupakan volume tangki *ballast* (m³). Jadi waktu yang diperlukan pada satu kali proses *ballasting* dan *deballasting* adalah 4.7 jam pada saat bersandar di pelabuhan.

3.4 Perhitungan Total *Head* Pompa *Ballast*

Head pompa adalah energi per satuan berat yang disediakan untuk mengalirkan sejumlah zat cair yang direncanakan dengan kondisi instalasi pompa, atau tekanan untuk mengalirkan sejumlah zat cair, yang dinyatakan dalam satuan panjang [10]. Perhitungan *head* pompa *ballast* berfungsi untuk mengetahui apakah dengan penambahan mesin *water ballast treatment* pada kapal Transko Aquila mempengaruhi pompa *ballast* yang sudah ada.

Diketahui:

- Volume *Ballast* Kapal (*V_b*) = 1643.6 m³

- Debit Pompa (*Q*) = 350 m³/h
 - Diameter Pipa *Ballast* (*D*) = 200 mm.
- Perhitungan total *head* dirumuskan sebagai berikut:

$$H = H_a + H_p + H_v + \sum Head\ Loss \tag{2}$$

dimana *H_a* merupakan *head* statis (m), *H_p* merupakan perbedaan tekanan *suction* dan *discharge* (m), dan *H_v* merupakan perbedaan kecepatan di daerah *suction* dan *discharge*.

$$H_a = H_d + H_s = 6.55\ m$$

$$H_p = 0\ m$$

$$H_v = 0\ m$$

Nilai *H_a* dihitung dari jarak tangki *ballast* ke *overboard*, *H_d* merupakan tinggi *overboard* (m), *H_s* adalah *draft* kapal (m). *Head losses* adalah kerugian energi yang terdapat pada fluida akibat adanya *head mayor* (*H_f*) dan *head minor* (*H_m*). *Head mayor* adalah kerugian yang disebabkan oleh gesekan fluida yang mengalir pada dinding pipa, *head minor* adalah kerugian yang disebabkan oleh adanya sambungan pipa seperti katup, belokan dan percabangan [11]. Perhitungan *head losses* pada pipa dirumuskan sebagai berikut :

Head Discharge

$$Major\ Losses\ (H_f) = \frac{\lambda \times L_s \times v^2}{D \times 2} \tag{3}$$

dimana λ merupakan koefisien kerugian gesek fluida, *L_s* adalah panjang sisi *discharge* (m), *v* adalah kecepatan aliran dalam pipa (m/s), *D* adalah diameter pipa *ballast* (m), dan *g* adalah percepatan gravitasi bumi (9,81 m/s²).

$$L_s = 61.2\ m$$

$$v = 2\ m/s$$

$$\lambda = 64/Re\ \text{jika}\ Re < 2300\ (\text{laminer})$$

$$\lambda = 0.002 + 0.0005 / D\ \text{jika}\ Re > 2300\ (\text{turbulen})$$

Untuk mengetahui nilai *reynold number* dapat dilakukan dengan menggunakan rumus sebagai berikut [12] ;

$$Re = \frac{\rho \times v \times D}{\mu} \tag{4}$$

dimana *Re* merupakan bilangan *reynold*, ρ adalah massa jenis air laut (kg/m³), *v* kecepatan aliran fluida didalam pipa (m/s), *D* adalah diameter pipa *ballast* (m), dan μ adalah viskositas (N s/m²).

$$Re = 410000 \text{ (aliran turbulen } Re > 2300)$$

$$\lambda = 0.01$$

$$Major Losses (Hf) = 0.62 \text{ m}$$

Selanjutnya dilakukan perhitungan pada *minor losses* dengan persamaan sebagai berikut :

$$Minor Losses (Hm) = \frac{(\sum n \times k) \times v^2}{2 \times g} \tag{5}$$

dimana *n* adalah jumlah aksesoris pemasangan pipa, *k* adalah koefisien kerugian gesek aksesoris, *v* adalah kecepatan fluida didalam pipa (m/s) dan *g* adalah percepatan gravitasi (9,81 m/s²). Pada tabel 4 ditampilkan aksesoris apa saja dengan penambahan mesin *water ballast treatment*.

Tabel 4. Perhitungan Nilai *K Head Loss Discharge*

Accessories	n	k	n x k
Butterfly Valve	22	0.63	13.86
Angle Valve	1	2.10	2.10
SDNRV Remotely	1	4.8	4.8
Elbow 90 ^o	6	0.42	2.52
T Joint	6	0.84	5.04
Jumlah			28.32

$$Minor Losses (Hm) = 5.14 \text{ m}$$

$$Total Head Discharge = Hf + Hm$$

$$= 5.76 \text{ m}$$

Head Suction

$$Major Losses (Hf) = \frac{\lambda \times Ls \times v^2}{D \times 2} \tag{6}$$

dimana λ merupakan koefisien kerugian gesek fluida, *Ls* adalah panjang sisi *suction* (m), *v*

adalah kecepatan aliran dalam pipa (m/s), *D* adalah diameter pipa *ballast* (m), dan *g* adalah percepatan gravitasi bumi (9,81 m/s²).

$$Ls = 5.8 \text{ m}$$

$$v = 2 \text{ m/s}$$

$$\lambda = 0.01$$

$$Major Losses (Hf) = 0.06 \text{ m}$$

$$Minor Losses (Hm) = \frac{(\sum n \times k) \times v^2}{2 \times g} \tag{7}$$

dimana *n* adalah jumlah aksesoris pemasangan pipa, *k* adalah koefisien kerugian gesek, *v* adalah kecepatan fluida didalam pipa (m/s) dan *g* adalah percepatan gravitasi (9,81 m/s²).

Tabel 5. Perhitungan Nilai *K Head Loss Suction*

Accessories	n	k	n x k
Butterfly Valve	24	0.63	15.12
Hose Ball Valve	13	0.04	0.52
SDNRV Remotely	1	4.8	4.8
T Joint	7	0.84	5.88
Angle Check Valve	2	2.10	4.20
Elbow 90 ^o	6	0.42	2.52
Jumlah			33.04

Pada tabel 5 ditampilkan aksesoris dalam penambahan mesin *water ballast treatment*.

$$Minor Losses (Hm) = 6.74 \text{ m}$$

$$Total Head Suction = Hf + Hm$$

$$= 6.8 \text{ m}$$

$$Total Head Losses = Head Suction + Head Discharge$$

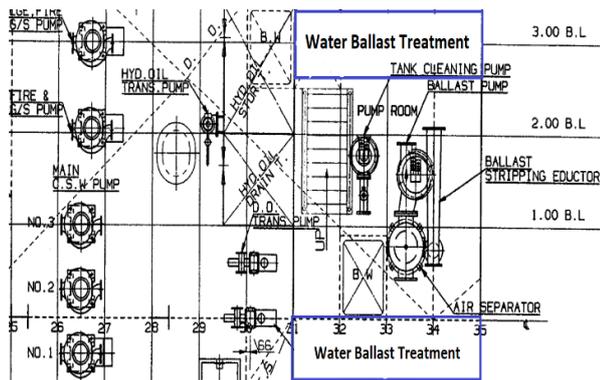
$$= 12.56 \text{ m}$$

$$Total Head = 19.11 \text{ m}$$

Karena *Head Pompa* > *Head total* hasil perhitungan, maka tidak perlu dilakukannya pergantian pompa akibat penambahan mesin *water ballast treatment*.

3.5 Lokasi Penempatan Mesin *Water Ballast Treatment*

Selanjutnya dilakukan peletakan mesin *water ballast treatment* yang sudah dipilih, maka diletakkan di ruang mesin yaitu pada *frame* 31-35 bersampingan dengan pompa *ballast*.



Gambar 6. Lokasi Penempatan Mesin *Water Ballast Treatment*

Pada gambar 6 ditampilkan lokasi peletakan mesin *water ballast treatment*. Berikut ukuran dari mesin :

- *Filter* : 910 x 750 x 1960 mm
- *UV* : 950 x 530 x 935 mm
- *Power Panel* : 1200 x 405 x 1800 mm

3.6 Analisa Biaya Menggunakan Metode *Activity Based Costing*

Analisa ini dilakukan untuk mengetahui besarnya biaya yang dibutuhkan dengan penambahan mesin *water ballast treatment* pada kapal *Transko Aquila*. Berikut cara dalam penerapan metode ABC:

- Mengetahui produk yang akan menjadi objek biaya.

Tabel 6. Produk Sebagai Objek Biaya

Produk	Spesifikasi	Jumlah
Hyde Guardian Gold Water Ballast Treatment	Model HG450G Flow Rate : 450 m ³ /h Filter Model FC250 910 x 750 x 1960 mm UV Model UV20A 950 x 530 x 935 mm Power Panel 1200 x 405 x 1800 mm	2 SET

Pada tabel 6 ditampilkan produk sebagai objek biaya yaitu mesin *water ballast treatment* dengan spesifikasi dan jumlah yang dibutuhkan.

- Mengidentifikasi biaya langsung produk meliputi biaya mesin *water ballast treatment*, biaya aksesoris sebagai pendukung proses pengolahan air *ballast*.

Tabel 7. Biaya Langsung Produk

Keterangan	Level Aktivitas	Total Biaya
Hyde Guardian Gold Water Ballast Treatment	<i>Unit-Level Activity</i>	Rp6.790.631.108
Pipa Ballas (Galvanized Steel nom diameter 8")	<i>Unit-Level Activity</i>	Rp45.587.200
<i>Butterfly Valve</i> (Cast Iron / JIS / nom diameter 8")	<i>Unit-Level Activity</i>	Rp9.460.000
<i>T Joint</i>	<i>Unit-Level Activity</i>	Rp141.792.000
<i>Elbow 90 Degree</i>	<i>Unit-Level Activity</i>	Rp3.300.000
SDNRV (Cast Iron / JIS / nom diameter 8")	<i>Unit-Level Activity</i>	Rp18.752.000
Total		Rp7.009.522.308

sumber : olah data internal galangan

Pada tabel 7 ditampilkan biaya langsung yang dipakai dalam penambahan mesin *water ballast treatment* adalah sebesar Rp7.009.522.308,00.

- Menetapkan dasar alokasi biaya, dan mengetahui tarif per unit dan menghitung total biaya tidak langsung yang ditetapkan ke produk. Pada tabel 8 ditampilkan biaya tidak langsung yang meliputi biaya pemasangan, inspeksi, dan lain-lain beserta harga satuannya.

Tabel 8. Biaya Tidak Langsung

Keterangan	Cost Driver	Total Biaya
Pemasangan Sistem Pipa Ballast (m)	Rp3.170.070	Rp63.401.400
Pemasangan Mesin WBT (unit job)	Rp37.298.760	Rp37.298.760
Pemasangan Butterfly Valve (pcs)	Rp3.954.528	Rp39.545.280
Pemasangan T Joint (pcs)	Rp3.954.528	Rp23.727.168
Pemasangan Elbow 90 Degree (pcs)	Rp3.954.528	Rp23.727.168
Pemasangan SDNRV (pcs)	Rp3.954.528	Rp7.909.056
Inspeksi Biro Klasifikasi (x)	Rp3.300.000	Rp3.300.000
Penggantian UV (set)	Rp20.000.000	Rp40.000.000
Penggantian Filter (set)	Rp4.974.937	Rp9.949.874
Kebutuhan Listrik (kWh)	Rp119.568	Rp561.970
Desain Mesin WBT (unit job)	Rp271.625.244	Rp271.625.244
Biaya Shipping (kg)	Rp389.240	Rp1.101.549.200
Total		Rp1.622.595.120

sumber : olah data internal galangan

Biaya tidak langsung yang dipakai dalam penambahan mesin *water ballast treatment* adalah sebesar Rp1.622.595.120,00.

- Menghitung total keseluruhan biaya dengan menjumlahkan semua biaya langsung dan tidak langsung.

Tabel 9. Total Biaya

Keterangan	Total Biaya
Biaya Langsung	Rp7.009.522.308

Biaya Tidak Langsung	Rp1.622.595.120
Total	Rp8.632.117.983

Jadi, pada tabel 9 disimpulkan bahwa total biaya yang dibutuhkan pada penambahan mesin *water ballast treatment* adalah sebesar Rp8.623.117.428,00.

4. KESIMPULAN

Berdasarkan penelitian yang dilakukan dapat disimpulkan bahwa berdasarkan perhitungan teknis menghasilkan *head* sebesar 19.11 m untuk penambahan mesin *water ballast treatment* pada kapal Transko Aquila sehingga tidak diperlukan pergantian pompa *ballast* yang sudah ada yang bernilai 25 m dan hanya menambahkan komponen *valve* dan *fitting* pada sistem *ballast*. Berdasarkan perhitungan biaya, maka disimpulkan dengan penambahan mesin *water ballast treatment* dapat menghabiskan uang sebesar Rp8.632.117.983,00.

UCAPAN TERIMAKASIH

Jurusan Perkapalan yang telah memberikan dukungan dalam penelitian ini. Segenap tim yang terlibat dalam penyusunan naskah jurnal ini.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] G. Joao, B. Minto, and P. Erivife, "Analisis Penerapan Ballast Water Management Sesuai Regulasi IMO pada Kapal yang Beroperasi di Perairan Timor-Leste," *Seminar Nasional Sains dan Teknologi Terapan VI*, pp. 1-10, 2018.
- [2] H. Eliza Dayinta, "Pengelolaan Air Balas : Kerangka Hukum Internasional dan Perbandingan Hukum di Indonesia," *Jurnal Hukum Lingkungan*, vol. 2, pp. 69-88, 2015.
- [3] M. S. Arif, H. A. Kurniawati, and M. N. Misbah, "Analisa Teknis dan Ekonomis Pemilihan Manajemen Air Ballas pada Kapal

- (Ship Ballast Water Management) di Indonesia,” *Kapal*, vol. 13, no. 3, pp. 126-134, 2016.
- [4] E. Lakshmi, M. Priya, and V. S. Achari, “An Overview on the Treatment of Ballast Water in Ships,” *Ocean Coast. Manag.*, vol. 199, pp. 1-12, October, 2020.
- [5] S. Diana, and J. Jolanta, “Ballast Water Treatment Technologies Comparative Analysis,” *Transport Means 2012 : Proceedings of the 16th International Conference*, pp. 25-26, October, 2012.
- [6] E. S. Alcantara, “Comparative Study of Approved IMO Technologies for Treatment of Ballast Waters,” M.S. thesis, *Dept. Naut. Sci. Eng., Univ. Politec. Catalunya Barcelonatech.*, Barcelona, October, 2018.
- [7] M. Siti, M. Riki, “Perbandingan Metode Konvensional dengan Activity Based Costing Berdasarkan Akurasi Penentuan Overhead dalam Perhitungan Cost of Goods Manufactured pada PT Multi Rezekitama,” *Jurnal Universitas Paramadina*, vol. 9, no. 1, pp. 301-317, April, 2012.
- [8] P. Nanda Desika, H. Siti Ragil, “Analisis Perbandingan Metode Konvensional dan Metode Activity Based Costing (ABC) untuk Tarif Rawat Inap (Studi Kasus pada RSUD DR. Saiful Anwar Kota Malang,” *Jurnal Administrasi Bisnis*, vol. 47, no. 1, June, 2017.
- [9] M. Berntzen, M. F. White, and W. A. Reinertsen, “Guidelines for Selection of a Ship Ballast Water Treatment System,” M.S. thesis, *Dept. Marine Systems Design., Norwegian Univ. of Sci. and Tech.*, Norway, 2010.
- [10] Helmizar, S. Endry, and N. Agus, “Karakteristik Aliran pada Susunan Pompa yang Berbeda Head Secara Seri dan Paralel”, *Jurnal Rekayasa Mekanik*, vol. 3, no.1, pp. 31-36, April, 2019.
- [11] Nurnawaty, Sumardi, “Analisis Perubahan Tinggi Tekanan Akibat Sudut Belokan 900 dan 450 dengan Menggunakan Fluid Friction Apparatus”, *Jurnal Teknik Hidro*, vol. 13, no. 1, pp. 28-37, February, 2020.
- [12] Hariyono, R. Gatut, and M. Haris, “Studi Eksperimental Perilaku Aliran Fluida pada Sambungan Belokan Pipa”, *V-Max*, vol. 1, no. 1, pp. 1-6, 2016.