

DESAIN BALLAST WATER TREATMENT SYSTEM PADA MV. KOTA NABIL

Vilvredo Parito Doloksaribu¹⁾, P. Ciptoadi²⁾, G. S. Norimarna³⁾

¹⁾S1 Teknik Mesin Fakultas Teknik, Universitas Pattimura

Email: vilvredo1821@gmail.com,

²⁾Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik, Universitas Pattimura

Email: pcipto@gmail.com,

³⁾Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik, Universitas Pattimura

Email: gertruidanorimarna@gmail.com,

Abstrak MV. Kota Nabil merupakan kapal kargo berbendera Singapura yang beroperasi di perairan internasional yang dibangun pada tahun 2008 dengan summer DWT 25985 ton, kapal ini memiliki system ballast yang berfungsi saat proses bongkar muat kapal. Sistem ini sangat dibutuhkan tetapi memiliki kelemahan yaitu pencemaran lingkungan pada air laut yang disebabkan ekosistem dan kotoran dalam tanki ballast. Sesuai dengan pertaruan IMO (International Maritime Organization) yang memberlakukan Ballast Water Management (BWM) convention pada standar D-1 dan D-2 untuk menjaga lingkungan pada air laut dan kapal yang belum memiliki ballast water treatment system harus memiliki pada saat pembaharuan sertifikasi IOPP (International Oil Pollution Prevention) dibawah MARPOL Annex 1 tentang pencegahan polusi minyak internasional. Penelitian ini bertujuan untuk mendesain ballast water treatment system dan menentukan spesifikasi komponen yang diperlukan. Metode penelitian ini menggunakan studi literatur dan observasi langsung dengan kru kapal dan senior project pada perusahaan. Hasil dari penelitian ini menunjukkan bahwa sistem BWTS kombinasi antara Filter dan UV Unit sebagai metode treatmentnya tanpa harus melakukan pergantian pompa ballast yang ada pada MV. Kota Nabil

Kata Kunci: Ballast water treatment system, kapasitas pompa, Filter dan UV unit

1. PENDAHULUAN

Pertumbuhan industri pelayaran global meningkatkan kebutuhan akan sistem ballast yang aman dan ramah lingkungan, namun praktik pengelolaan air ballast yang tidak tepat menimbulkan pencemaran laut akibat masuknya mikroorganisme dan sedimen asing. Kasus pada MV. Kota Nabil, kapal kargo berbendera Singapura yang beroperasi sejak 2008, menunjukkan pentingnya sistem Ballast Water Treatment System (BWTS) yang sesuai standar Ballast Water Management (BWM) Convention 2017 yang dikeluarkan oleh International Maritime Organization (IMO). Konvensi ini menetapkan Standar D-1 (pertukaran air ballast minimal 95% jauh dari pantai) dan Standar D-2 (batasan mikroorganisme hidup yang dibuang), sehingga kapal diwajibkan memiliki sistem BWTS sesuai ketentuan MARPOL Annex I.

Permasalahan utama penelitian ini adalah bagaimana merancang sistem BWTS yang memenuhi standar IMO namun tetap sesuai dengan karakteristik teknis kapal eksisting tanpa mengganggu performa pelayaran dan efisiensi energi. Pendekatan penelitian dilakukan melalui desain teknik sistem perpipaan BWTS dengan mempertimbangkan aspek teknis, lingkungan, dan regulatif.

Hasil tinjauan pustaka menunjukkan bahwa penelitian sebelumnya lebih menitikberatkan

pada efektivitas teknologi pengolahan air ballast. Misalnya, Sumanta Buana et al. (2022) menggunakan multi-criteria analysis dalam penilaian sistem ship outfitting; Rifat Al Farid et al. (2021) menemukan metode filtration + UV paling efisien; Rajoo Balaji & Omar B. Yaakob (2011) menyoroti kombinasi heat treatment dengan filtration dan deoxygenation yang hemat energi. Sementara studi lain oleh Kim et al. (2020), Zhang et al. (2019), Lee dan Park (2020), Chen et al. (2021), serta Khan et al. (2023) menunjukkan inovasi dalam optimasi sistem, tetapi belum banyak yang mengkaji desain BWTS spesifik untuk kapal eksisting dengan keterbatasan ruang.

Kebaruan penelitian ini terletak pada pengembangan desain sistem BWTS yang kompatibel dengan spesifikasi kapal eksisting seperti MV. Kota Nabil, dengan fokus pada bentuk dan ukuran perpipaan yang efisien dan sesuai regulasi IMO. Tujuan penelitian ini adalah menghasilkan desain BWTS adaptif yang dapat menjadi model bagi kapal sejenis. Penelitian ini diharapkan memberi kontribusi teoretis bagi pengembangan teknologi pengolahan air ballast ramah lingkungan dan manfaat praktis bagi industri pelayaran dalam mendukung keberlanjutan lingkungan laut.

2. METODE

Penelitian ini menggunakan pendekatan kepustakaan dan observasi lapangan untuk merancang desain Ballast Water Treatment System (BWTS) pada kapal MV Kota Nabil. Pengumpulan data dilakukan melalui observasi langsung, wawancara, serta pengumpulan data sekunder berupa dokumen teknis, gambar kerja, dan literatur ilmiah terkait.

Penelitian dilaksanakan selama tiga bulan, yaitu dari 17 Januari hingga 8 April 2023, bertempat di PT. Marcopolo Shipyard – Batam, lokasi di mana kapal MV Kota Nabil menjalani annual survey.

Objek penelitian ini adalah kapal MV Kota Nabil, dengan fokus pada sistem BWTS yang akan dipasang. Adapun variabel penelitian terbagi menjadi dua, yaitu:

- 1) Variabel bebas (independen): kapasitas tangki dan kapasitas pompa.
- 2) Variabel terikat (dependen): kapasitas filter, dimensi UV, dan ukuran pipa.

Hubungan antarvariabel diformulasikan dalam persamaan:

$$\begin{aligned}y_1 &= f(x_1, x_2, x_3) \\y_2 &= f(x_1, x_2, x_3) \\y_3 &= f(y_1, y_2)\end{aligned}$$

Dengan x_1 = kapasitas pompa ballast, x_2 = kapasitas tangki ballast, x_3 = kapasitas pipa ballast, y_1 = kapasitas unit UV, y_2 = dimensi filter, dan y_3 = kapasitas pompa flushing.

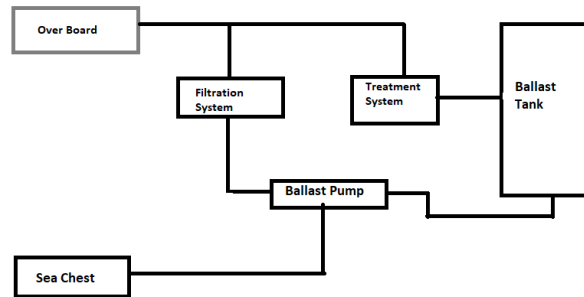
Seluruh proses analisis menggunakan Sistem Satuan Internasional (SI) dan penulisan simbol atau variabel mengikuti kaidah penulisan ilmiah sesuai pedoman teknis penulisan persamaan matematika.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Perancangan Ballast Water Treatment System (BWTS)

Perancangan *Ballast Water Treatment System* (BWTS) pada MV. Kota Nabil dilakukan untuk memenuhi standar pengelolaan air *ballast* sesuai dengan ketentuan *International Maritime Organization* (IMO) dan *United States Coast Guard* (USCG). Sistem ini dirancang agar mampu mengolah air ballast secara efisien sebelum disimpan maupun dibuang ke laut.

Proses perancangan diawali dengan pembuatan *Process Flow Diagram* (PFD) menggunakan Microsoft Visio yang menggambarkan alur pengolahan air *ballast*.



Gambar 1. Flow Diagram BWTS

Sumber: hasil perancangan peneliti

Proses pengolahan air ballast terdiri dari beberapa tahap utama:

1. Proses *Suction*, air ballast dihisap dari laut menggunakan pompa ballast untuk dialirkan ke sistem BWTS.
2. *Preliminary Filtration*, penyaringan awal dilakukan untuk menghilangkan partikel besar, sedimen, dan kotoran kasar menggunakan *filter basket*.
3. *Treatment Stage*, pada tahap ini, air ballast diolah menggunakan UV Unit untuk membunuh mikroba, larva, dan organisme kecil lainnya. Teknologi UV efektif karena tidak menghasilkan produk samping berbahaya seperti klorin (Wang et al., 2022).
4. Penyimpanan Air *Ballast*, setelah melewati proses penyaringan dan *UV treatment*, air dialirkan menuju tangki ballast untuk disimpan sementara.
5. *Proses Discharge*, ketika air ballast akan dibuang, sistem kembali melakukan filtrasi dan *UV treatment* sebelum dialirkan ke laut.

Proses tersebut memastikan bahwa air ballast yang dilepaskan bebas dari mikroorganisme hidup sebagaimana dipersyaratkan oleh IMO D-2 Standard (IMO, 2017).

B. Desain Ballast Water Treatment System (BWTS) MV. Kota Nabil

Perancangan BWTS pada kapal MV. Kota Nabil dilakukan dengan mempertimbangkan kapasitas pompa ballast sebesar 400 m³/jam, sebagai dasar pemilihan komponen sistem yang meliputi UV Unit, Filter, dan komponen tambahan lainnya.

a. UV Unit

Komponen utama sistem adalah Alfa Laval PureBallast 3 Ultra & Ultra Ex, dengan kapasitas 600 m³/h dan power consumption 33–63 kW. Sistem ini telah tersertifikasi oleh IMO dan USCG, menjamin efektivitas dalam mensterilkan mikroba laut.

Tabel 1. Spesifikasi UV Unit

No	Deskripsi	Alva Laval Pureballast 3 Std & Ex
1	Power Consumption	600 m ³ /h
2	Min Power	33 kW
3	Max Power	63 kW
4	Preasure	6 Bar (Up To 10 Bar Optional)
5	Flange	250 mm
6	Dimensions (H X W X D) mm	855 Mm × 765 mm × 1400 mm
7	Net/Dry Weight	320 kg
8	Volume	80 m ³

b. Filter

Filter yang digunakan adalah Alfa Laval PureBallast 3 Std & Ex dengan kapasitas 500 m³/h. Komponen ini berfungsi menyaring partikel besar sebelum air ballast melewati *UV treatment*.

Tabel 2. Spesifikasi Filter

No	Deskripsi	Alva Laval Pureballast 3 Std & Ex
1	Power Consumption	500 m ³ /h
2	Name Model Filter	Filtrex
3	Pipe	250 mm
4	Dimensions (H X W X D) Mm	610 mm × 637 m × 1296 mm
5	Net/Dry Weight	620 kg
6	Volume	146 m ³

Pemilihan UV dan filter ini mempertimbangkan kesesuaian dengan laju pompa ballast serta efisiensi filtrasi (Endresen et al., 2021).

c. Komponen Tambahan BWTS

Untuk menunjang efektivitas sistem BWTS, dipasang dua komponen tambahan, yaitu Cleaning In Place (CIP) dan Flow Meter.

Tabel 3. Komponen Tambahan BWTS

No	Komponen	Jumlah
1	Cleaning In Place	1
2	Flow Meter	1

d. Cleaning In Place (CIP)

Komponen ini berfungsi membersihkan reaktor UV agar tidak terakumulasi kerak garam laut. Dengan Ukuran: 740 mm × 870 mm × 1800 mm. Berat: 155 kg. Volume: 250 m³



Gambar 2. Cleaning In Place (CIP)

e. Flow Meter

Berfungsi mengukur debit aliran air ballast agar sistem beroperasi dalam batas optimal.



Gambar 3 Flow Meter

Qmax: 3000 m³/h, Diameter: 10 inch, Tekanan: 16 bar, Material: *Hardrubbery Alloy C22*

f. **Komponen Tambahan Pipa BWTS**

Komponen pipa berfungsi mengalirkan air dari laut ke tangki ballast melalui filter dan UV unit.

Tabel 4. Komponen Tambahan Pipa

No	Jenis	Jumlah
1	Pipe DN 250	31,9 m
2	Pipe Reducer DN 250	2
2	Elbow 90 Sr DN 250	33
3	Flange DN 250	87

Material pipa menggunakan pipa galvanis dengan ketahanan korosi tinggi terhadap air laut (Kim et al., 2020).

g. **Data Desain**

Parameter dasar desain BWTS MV. *Kota Nabil*:

Tabel 5. Data Desain

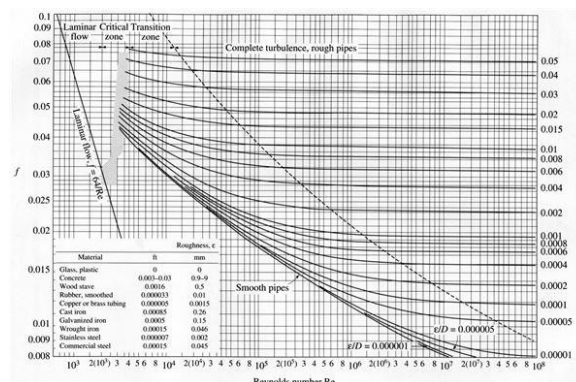
Parameter	Nilai
Laju Aliran Pompa Ballast	400 m ³ /jam
Massa Jenis Air Laut (ρ)	1025 kg/m ³
Viskositas Dinamis (μ)	0,001 kg/ms
Diameter Pipa (D)	0,25 m
Head Pompa	25 m
Kekasaran Pipa (ϵ)	0,15 mm

Nilai-nilai tersebut menjadi dasar perhitungan hidrolis dan analisis kehilangan energi (head loss) dalam sistem.

C. Perhitungan Kehilangan Head (Head Loss Calculation)

a. **Perhitungan Kehilangan Head – Ballasting melalui Fire, Ballast, dan GS Pump**

Proses ballasting dimulai dari sea chest menuju *Fire, Bilge, and Ballast Pump* dan diteruskan melalui sistem *Ballast Water Treatment System (BWTS)* sebelum dialirkan ke tangki ballast. Jalur ini dibagi menjadi enam segmen utama untuk mempermudah analisis kehilangan head.



Gambar 4. Diagram Moody

Sumber: hasil perhitungan peneliti berdasarkan Cengel & Cimbala, 2021

Parameter perhitungan:

Faktor gesekan (λ) = 0,048

Panjang pipa (L) = 16 m

Segment 1: Dari suction menuju Fire, Bilge, and Ballast Pump inlet.

Diameter pipa (d) = 0,25 m	Segment 2: Dari pump out menuju tap-out point.
Kecepatan aliran (V) = 2,263 m/s	Segment 3: Dari tap-out menuju filter inlet.
Gravitasi (g) = 9,81 m/s ²	Segment 4: Dari filter outlet menuju UV inlet.
	Segment 5: Dari UV outlet menuju tap-in.
	Segment 6: Dari tap-in menuju tank-in.

Hasil perhitungan:

$$h_f = 0.048 \times \frac{16}{0.25} \times \frac{(2.263)^2}{2 \times 9.81} = 0.8018 \text{ m}$$

Nilai kehilangan head sebesar 0,8018 m menunjukkan efisiensi hidrolis yang tinggi dan mendukung performa pompa ballast secara optimal. Nilai ini berada dalam batas yang direkomendasikan untuk sistem aliran tertutup (Cengel & Cimbala, 2021).

Perhitungan head loss pada setiap segmen dilakukan berdasarkan panjang pipa, diameter, jenis material, serta jumlah fitting yang digunakan. Konversi head loss dilakukan ke satuan bar untuk memudahkan analisis tekanan.

Dari hasil perhitungan pada masing-masing segmen, diperoleh total kehilangan head (mayor + minor) sebesar 19,75 m. *Head total* pada sisi isap pompa (suction total head) kemudian dihitung untuk memastikan kapasitas pompa mampu mengatasi kehilangan tekanan sepanjang sistem.

Analisis menunjukkan bahwa *head total* pompa yang terpasang masih mencukupi terhadap total kehilangan head yang dihitung, sehingga sistem dapat beroperasi secara efektif tanpa menyebabkan kavitasi pada pompa.

b. Perhitungan Kehilangan Head – De-Ballasting melalui Fire, Ballast, dan GS Pump

Pada proses *de-ballasting*, aliran air ballast bergerak dari tangki menuju pompa dan selanjutnya melewati unit Ballast Water Treatment System (BWTS) hingga ke pembuangan (*overboard*). Jalur ini terdiri dari empat segmen utama:

Segment 1: Dari ballast tank menuju Fire, Bilge, and Ballast Pump inlet.

Segment 2: Dari pump out menuju tap-out point.

Segment 3: Dari tap-out menuju UV unit inlet.

Segment 4: Dari UV outlet menuju overboard.

Seperti pada proses *ballasting*, kehilangan *head* dihitung berdasarkan panjang pipa, fitting, dan jenis aliran pada masing-masing segmen. Nilai kehilangan *head* dikonversi ke satuan bar, kemudian dijumlahkan untuk mendapatkan total head loss pada proses *de-ballasting*.

Selain itu, *head* statis pada sisi discharge turut diperhitungkan sebagai bagian dari total head sistem. Dari hasil perhitungan diperoleh bahwa total kehilangan head selama proses *de-ballasting* adalah sebesar 24,15 m.

Hasil analisis menunjukkan bahwa pompa yang digunakan masih mampu menghasilkan *head* lebih tinggi dari total *head loss* sistem, sehingga aliran *de-ballasting* tetap optimal dan tidak terjadi penurunan performa sistem secara signifikan.

c. Kapasitas Pompa Ballast BWTS

Kapasitas pompa ballast merupakan faktor penting dalam menentukan waktu yang dibutuhkan untuk melakukan pengisian atau pengosongan tangki ballast. Berdasarkan data, total kapasitas tangki ballast pada kapal MV. Kota Nabil adalah sebesar 897,1 MT.

Apabila waktu yang diinginkan untuk proses pengisian penuh adalah 23 jam, maka kapasitas pompa ideal dapat dihitung dengan menggunakan persamaan:

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

dengan Q adalah kapasitas pompa (m^3/jam), V volume tangki (m^3), dan t waktu (jam).

Dari hasil perhitungan diperoleh kapasitas pompa sebesar $39,01 m^3/jam$. Sedangkan kapasitas pompa aktual yang terpasang pada sistem adalah $400 m^3/jam$, jauh melebihi kebutuhan minimum. Dengan demikian, waktu aktual pengisian tangki ballast hanya membutuhkan sekitar 2,06 jam untuk mencapai volume penuh.

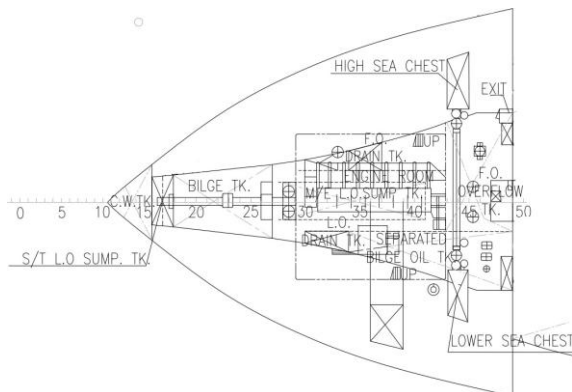
Hasil ini menunjukkan bahwa pompa yang digunakan sangat memadai untuk mendukung operasional sistem *Ballast Water Treatment System (BWTS)*, baik pada kondisi ballasting maupun de-ballasting.

d. Penentuan Lokasi Ballast Water Treatment System (BWTS)

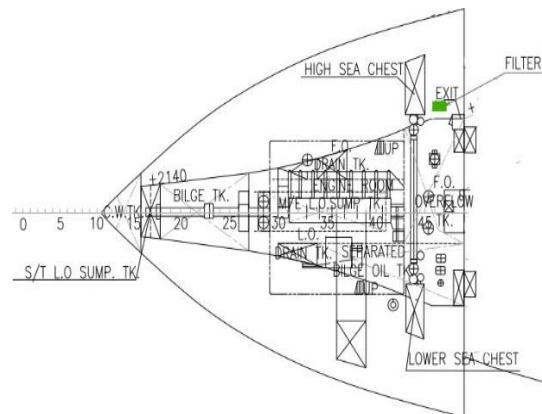
Penentuan lokasi instalasi BWTS dilakukan dengan mempertimbangkan beberapa aspek penting, yaitu:

1. Ketersediaan ruang di ruang mesin agar instalasi tidak mengganggu komponen utama kapal.
2. Kemudahan akses perawatan dan pengawasan terhadap komponen filter dan UV unit.
3. Integrasi dengan sistem pipa eksisting tanpa perlu melakukan modifikasi besar.
4. Keamanan operasional kapal, terutama terkait suhu ruang dan risiko getaran mesin.
5. Kedekatan dengan sea chest untuk meminimalkan panjang jalur pipa dan kehilangan head.

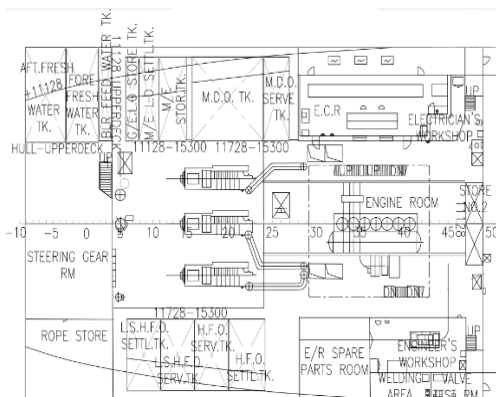
Dari hasil evaluasi dan permodelan ruang mesin, lokasi paling optimal untuk pemasangan BWTS adalah di Engine Room dengan pembagian area sebagai berikut:



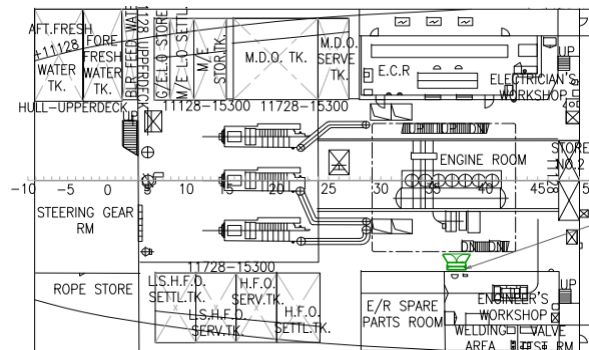
Gambar 5 Floor level - Engine Room



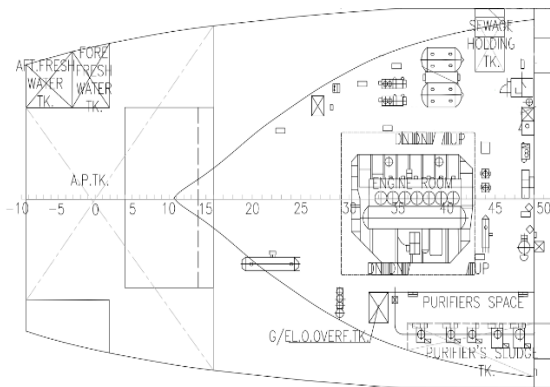
Gambar 6 Floor Level - Engine Room dengan Penambahan BWTS



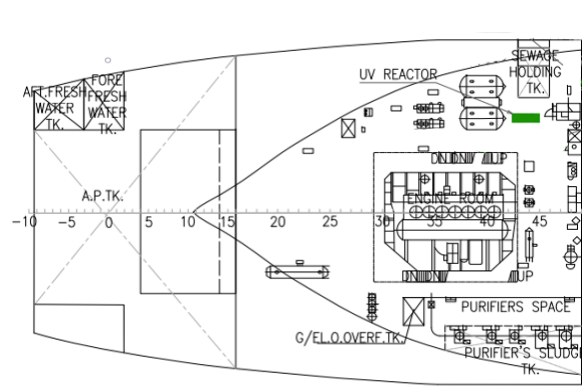
Gambar 7 Upper Platform – Engine Room



Gambar 8 Upper Platform – Engine Room dengan penambahan BWTS



Gambar 9 Lower Platform – Engine Room



Gambar 10 Lower Platform - Engine Room dengan Penambahan BWTS

Penempatan ini dinilai paling efisien karena memudahkan integrasi antara pompa ballast, filter, dan UV unit tanpa perlu perpanjangan pipa yang signifikan. Selain itu, posisi tersebut memungkinkan teknisi untuk melakukan pemeriksaan rutin secara aman dan cepat.

Dengan demikian, lokasi instalasi BWTS pada kapal MV. Kota Nabil telah memenuhi kriteria teknis dan operasional yang direkomendasikan oleh standar instalasi sistem pengolahan air ballast.

e. Hasil

Pada tahap perancangan sistem ballast MV. Kota Nabil, dilakukan evaluasi terhadap pompa ballast dan pipa utama untuk memastikan kinerja tetap optimal setelah integrasi Ballast Water Treatment System (BWTS).

Hasil analisis menunjukkan bahwa pompa ballast eksisting masih layak digunakan karena nilai head-nya mencukupi meskipun terjadi peningkatan kehilangan tekanan akibat penambahan komponen BWTS. Dengan demikian, tidak diperlukan penggantian pompa.

Tabel 6 Hasil

Parameter	Keterangan
Model	SS400-25-75
Tipe	Slurry Pump
Kapasitas	400 m ³ /jam
Head	25 m
Daya Motor	75 kW
Kecepatan	1450 rpm
Frekuensi/Tegangan	50 Hz / 380 V
Material Utama	Chrome High & 2Cr13
Seal	Mechanical Seal



Gambar 11. Hasil

Selain itu, dilakukan penyesuaian jalur pipa utama untuk mengakomodasi komponen BWTS seperti Filter Unit, UV Unit, CIP, Elbow Valve, Flowmeter, dan Sampling Point. Modifikasi ini hanya menambah panjang pipa dan fitting baru tanpa mengubah sistem utama. Dengan demikian, sistem ballast MV. Kota Nabil tetap efisien dan ekonomis setelah penambahan BWTS, karena pompa dan konfigurasi pipa yang ada masih memenuhi kebutuhan operasional kapal.

4. SIMPULAN

Berdasarkan hasil perancangan *Ballast Water Treatment System (BWTS)* pada MV. *Kota Nabil*, sistem pengolahan air ballast menggunakan kombinasi metode filtrasi dan radiasi ultraviolet (UV Unit). Dari hasil analisis hidrolika dan hasil perhitungan kapasitas pompa ballast sebesar 400 m³/h, maka tidak diperlukan penggantian atau modifikasi besar pada sistem pompa kapal. Adapun spesifikasi utama komponen BWTS yang digunakan adalah sebagai berikut:

Tabel 7 Filter Unit

Parameter	Spesifikasi
Nama Model	Alva Laval PureBallast 3 Std & Ex
Kapasitas	500 m ³ /h
Tipe Filter	FILTREX
Ukuran Pipa	250 mm
Dimensi (H × W × D)	610 mm × 637 mm × 1296 mm
Berat Kering	620 kg
Volume	146 m ³

Tabel 8 UV Unit

Parameter	Spesifikasi
Nama Model	Alva Laval PureBallast 3 Std & Ex
Kapasitas	600 m ³ /h
Daya Minimum	33 kW
Daya Maksimum	63 kW
Tekanan Operasional	6 bar (hingga 10 bar opsional)
Flange	250 mm
Dimensi (H × W × D)	855 mm × 765 mm × 1400 mm
Berat Kering	320 kg
Volume	80 m ³

Secara keseluruhan, rancangan BWTS ini telah memenuhi kebutuhan operasional MV. *Kota Nabil* sesuai standar IMO dan USCG, serta dapat diterapkan tanpa mempengaruhi performa sistem ballast kapal yang sudah ada.

DAFTAR PUSTAKA

- Anthony Petrolo, 2015 *Ballast Water Management for Marine Biodiversity* Atmajayani, R.D. 2018. Implementasi Penggunaan Aplikasi AutoCAD dalam meningkatkan Kompetensi Dasar Menggambar teknik bagi Masyarakat, *Jurnal Riset dan Konseptual*. 3(2), 184- 189.
- Lloyd's Register 2012, *Ballast water treatment technologies and current system availability*, Part of Lloyd's Register's Understanding Ballast Water Management series
- Rajoo Balaji dan Omar B Yaakob 2011 *Emerging Ballast Water Treatment Technologies: A Review*
- Rifat Al Farid, Imam Pujo Mulyatno, Kiryanto, Andi Trimulyono, Ari Wibawa Budi Santosa (2021) melakukan penelitian dengan judul "Analisis Teknis dan Ekonomis Perancangan Water Ballast Treatment Metoda Filtration + UV pada Kapal Transko Aquila 3592 DWT"
- Resolution MEPC.279(70), 2016, *Guidelines for Approval of Ballast Water Management Systems (G8)*

Sumanta Buana, Katsuhisa Yano, Takeshi Shinoda (2022). Design Evaluation Methodology for ships' outfitting Equipment by Applying Multi-criteria Analysis : Proper Choices Analysis of Ballast Water Management Systems. *International Journal of Technology*, 13(2), 310-320.