

PERANCANGAN BALLAST WATER TREATMENT SYSTEM (BWTS) PADA MV INTAN DAYA 288

Parnanta Sitanggang¹⁾, P. Ciptoadi²⁾, G. S. Norimarna³⁾

¹⁾S1 Teknik Mesin Fakultas Teknik, Universitas Pattimura
Email: nantastg12@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 Kapal merupakan alat transportasi laut yang dapat mengangkut muatan dengan jumlah yang besar. Untuk menjaga stabilitas kapal diperlukan sistem air ballast yang berfungsi untuk menjaga kapal tetap pada kondisi stabil. Berdasarkan data dari International Maritime Organization (IMO), sekitar 10 miliar metrik ton air ballast dibebankan ke kapal setiap tahun, dan air ballast sering menjadi media penyebaran organisme asing di seluruh dunia. Kombinasi dari Filter dan UV unit merupakan sistem BWTS yang paling efisien terhadap pengolahan air ballast. Dalam penelitian yang dilakukan, penulis menggunakan jenis penelitian berbasis kepustakaan dan observasi, yaitu penelitian yang dilaksanakan dengan menggunakan studi literature dan tinjauan langsung di lapangan untuk membuat sebuah rancangan/desain BWTS pada MV Intan Daya 288. Dalam hasil penelitian didapatkan bahwa kapal MV. Intan Daya 288 dapat menggunakan sistem BWTS kombinasi antara Filter dan UV Unit sebagai metode treatmentnya tanpa harus melakukan pergantian pompa ballast yang ada pada MV. Intan Daya 288.

Kata kunci : Ballast Water Treatment System (BWTS), UV Unit, Filter.

1. PENDAHULUAN

Kapal merupakan alat transportasi laut yang dapat mengangkut muatan dengan jumlah yang besar. Dalam mengoperasikan sebuah kapal, ada beberapa hal yang harus diperhatikan, salah satunya adalah stabilitas kapal tersebut. Untuk menjaga stabilitas kapal diperlukan sistem air ballast yang berfungsi untuk menjaga kapal tetap pada kondisi stabil. Sistem air ballast menggunakan air laut sebagai media untuk menjaga kestabilan sebuah kapal.

Terdapat dampak negatif yang diakibatkan oleh air ballast, dimana air ballast seringkali mengandung organisme asing, seperti bakteri, virus, alga, plankton, dan hewan laut kecil lainnya. Ketika kapal memompa air ballast di satu lokasi dan melepaskannya di lokasi lain, organisme asing ini dapat terlepas ke perairan baru dan mengancam ekosistem laut yang ada. Hal ini merupakan masalah serius yang telah diakui oleh banyak negara, dan regulasi internasional telah diterapkan untuk mengatasi masalah ini.

Berdasarkan data dari International Maritime Organization (IMO), sekitar 10 miliar metrik ton air ballast dibebankan ke kapal setiap tahun, dan air ballast sering menjadi media penyebaran organisme asing di seluruh dunia. Organisme asing ini dapat mengganggu ekosistem laut lokal, mengancam populasi spesies asli, serta menyebabkan kerugian ekonomi dan ekologis. Permasalahan limbah air ballast telah menjadi perhatian sebelum tahun 1980, sehingga para anggota organisasi International Maritime Organization (IMO) mulai melaporkan berbagai permasalahan tentang Invasive Aquatic Species (IAS) kepada Marine Environment Protection Committee (MEPC). Setelah dilakukan berbagai penelitian maka

pada tahun 1991 telah dibuat sebuah peraturan IMO untuk mengembangkan Ballast Water Management Convention (BWM Convention) yang kemudian disetujui pada tahun 2004.

Nicholas Panoguan (2018) menjelaskan tentang persyaratan regulasi internasional yang mengharuskan kapal-kapal untuk memiliki sistem pengolahan air ballast yang efektif. D. Andrew R. Drake (2020) mengevaluasi efektivitas berbagai sistem pengolahan air ballast, penelitian ini mencakup perbandingan efektivitas berbagai sistem BWTS. Dalam penelitian tersebut disimpulkan bahwa kombinasi dari Filter dan UV unit merupakan sistem BWTS yang paling efisien terhadap pengolahan air ballast. Muhammad Ravi Valerian (2022) pengolahan air ballast filtration + uv adalah opsi terbaik karena proses instalasi dan perawatan yang mudah serta tidak membutuhkan ruang yang luas dalam penempatannya. Penelitian ini penting karena perancangan sistem BWTS yang efektif sangat diperlukan untuk meminimalkan risiko penyebaran organisme asing melalui air ballast.

2. METODOLOGI PENELITIAN

A. Tempat

Tempat penelitian ini dilaksanakan pada PT. BANDAR ABADI BATAM khususnya pada MV. INTAN DAYA 288.

B. Metode Observasi Lapangan

Pada metode observasi lapangan, pengumpulan data dilakukan dengan metode observasi langsung ke lapangan PT. BANDAR ABADI BATAM khususnya pada MV. INTAN DAYA 288.

C. Metode Wawancara

Wawancara yang dilakukan dengan Mekanik PT BANDAR ABADI BATAM dan Owner Surveyor serta kepala kamar mesin MV. INTAN DAYA 288.

D. Variabel Penelitian

- Variable bebas : Kapasitas pompa ballast, tanki ballast, dan pipa ballast.
- Variabel terikat : Kapasitas BWTS.

E. Pengolahan Data

1. Penentuan Nilai *Resistance Coefficient*

Penentuan nilai koefisien resistansi (*resistance coefficient*) dalam perancangan BWTS melibatkan pemahaman tentang karakteristik hidrodinamika dari sistem tersebut. Dalam penentuan nilai koefisien resistansi ini berfokus pada komponen yang ditambahkan. Komponen tersebut meliputi UV Unit dan Filter pada BWTS karena kurangnya data *resistance coefficient* (K) untuk filter dan UV Unit, maka perlu dilakukan pendekatan dengan menggunakan peralatan lain yang sifat alirannya mendekati kedua unit tersebut.

2. Perhitungan Tekanan (Head) Pompa Ballast

Head pompa adalah ketinggian maksimum fluida yang dapat dipompa oleh sebuah unit pompa, dalam konteks ini head pompa dapat disebut juga dengan head total.

$$H = h_{stat} + \Delta h_p + h_1 + \frac{vd^2}{2g}$$

- Head Statis (h_{stat})

Head statis adalah penjumlahan dari tinggi head suction dengan tinggi head discharge.

$$h_{stat} = h_t + h_i$$

- Head Tekanan (Δh_p)

Head tekanan pompa ialah selisih tekanan antara sisi suction (P_s) dan discharge (P_d) dibagi berat jenis (γ).

$$\Delta h_p = \left(\frac{P_d - P_s}{\gamma} \right)$$

– Kerugian Head (h_1)

Head pompa terbagi menjadi 2 macam, yaitu head losses mayor (h_f) dan head losses minor (h_m).

$$h_1 = h_f + h_m$$

– *Major Losses* pada Sisi *Suction*

Untuk dapat menghitung head losses mayor, perlu diketahui lebih jelas awal jenis aliran fluida yang mengalir. Jenis aliran tersebut dapat diketahui melalui turunan dari persamaan bilangan Reynold (Re) sehingga menjadi persamaan berikut:

$$Re = \frac{v \rho Q}{\mu}$$

Perhitungan head loss mayor (h_f) dapat menggunakan persamaan Darcy Weisbach sebagai berikut :

$$h_f = \lambda \times \frac{L}{d} \times \frac{v^2}{2g}$$

– *Minor Losses* pada Sisi *Suction*

Perhitungan head loss minor (h_m) dapat menggunakan persamaan Darcy Weisbach sebagai berikut:

$$h_m = (\sum n \times k) \times \frac{v^2}{2g}$$

3. Kapasitas Pompa Ballast BWTS

Kapasitas pompa ballast (Q) dapat dihitung menggunakan persamaan berikut ini:

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

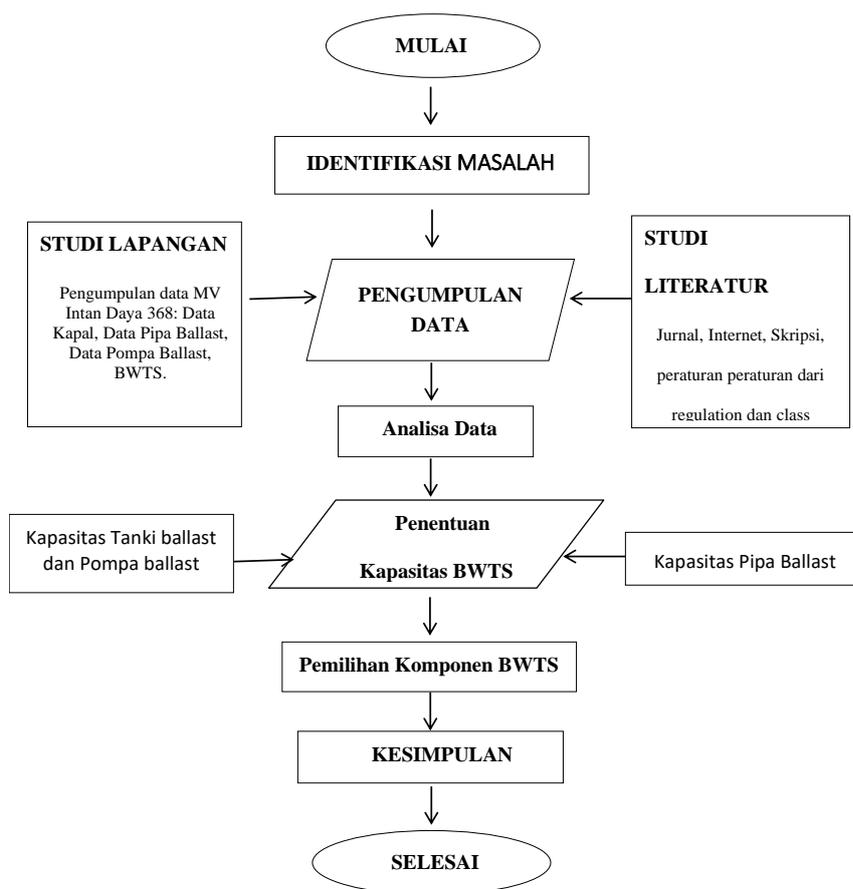
4. Waktu Pengisian Tangki ballast BWTS

Waktu pengisian tangki ballast (t) dapat dihitung menggunakan persamaan berikut ini:

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

5. Prosedur Penelitian

- Ruang yang Tersedia: Tinjau ruang yang tersedia di mesin kapal, terutama di ruang mesin. Perlu memastikan lokasi yang sesuai untuk menempatkan BWTS, seperti UV Unit, Filter, Pompa Flushing dan sistem kontrol.
- Aksesibilitas: Pastikan instalasi BWTS dapat diakses dengan mudah untuk pemeliharaan dan perawatan rutin. Hal ini juga akan mempengaruhi lokasi yang paling tepat.
- Integrasi dengan Sistem Kapal: Pastikan BWTS dapat diintegrasikan dengan sistem kapal yang ada tanpa mengganggu sistem operasi mesin yang ada pada *engine room*.
- Keamanan: Pastikan lokasi instalasi tidak mengganggu keamanan operasi kapal, seperti akses ke sistem pemadam kebakaran atau aliran lalu lintas orang di ruang mesin.
- Lokasi pemasangan di pastikan dekat dengan pipa sea chest untuk mengurangi penggunaan pipa tambahan.



Gambar 1. Diagram Alir Penelitian

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Dalam perancangan Ballast Water Treatment System (BWTS) pada MV. Intan Daya 288 memiliki beberapa proses tahapan untuk menghasilkan hasil rancangan BWTS beserta komponen komponennya. Berikut merupakan proses dan tahapan dalam merancang BWTS pada MV. Intan Daya 288:

A. Pemilihan Kapasitas BWTS

Dalam pemilihan kapasitas BWTS maka diperlukan kapasitas pompa ballast yang terpasang pada kapal. Dari kapasitas pompa, maka didapatkan unit BWTS yang cocok untuk digunakan.

B. UV Unit

Berikut ini adalah spesifikasi UV Unit yang digunakan:

Tabel 1. Spesifikasi UV Unit

No.	Description	V20066
1	Max Flow	370 m ³ /h
2	Preasure loss (bar)	≤ 0.2
3	Max power	36 kW
4	Min power	7.2 kW
5	UV lights	6 pcs
6	MP cabels	3 pcs
7	Flange size	DN 200
8	Volume (liters)	42

9	Dry weight (kg)	150
10	Dimensions (H x W x D) mm	776 x 828 x 438

C. Filter

Berikut ini adalah spesifikasi Filter yang digunakan:

Tabel 2. Spesifikasi Filter

No.	Description	F0340
1	Max Flow	340 m ³ /h
2	Main pipe size	DN 200
3	Mechanical Filter	Filter 340 m ³ /h DN 200/65 BZ-AL
4	Makers Designation	ACB-945-200

D. Pemilihan Komponen Tambahan BWTS

Komponen tambahan dalam perancangan BWTS dibutuhkan untuk menunjang kinerja BWTS. Komponen tambahan BWTS meliputi backwash pump, cip, dan flowmeter.

Tabel 3. Komponen Tambahan BWTS

No	Komponen	Jumlah Unit
1	Backwash pump	1
2	Cip	1
3	Flowmeter	1

E. Komponen Pipa

Dalam rancangan ini ditentukan pula komponen tambahan untuk pipa yang digunakan dalam rencana pemasangan BWTS. Komponen tambahan pipa meliputi Elbow, Tee dan Valve.

Tabel 4. Komponen Tambahan Pipa

No	Jenis Pipa	Jumlah Unit
1	Elbow	3
2	Tee	2
3	Valve	7

F. Pompa Ballast Water Treatment System

Penentuan Nilai Resistance Coefficient

Setelah memasukkan semua data ke dalam pressure drop online calculator, maka didapatkan data nilai K Filter sebesar = 1,7, K UV Unit sebesar 0.42. Untukantisipasi terjadinya kesalahan pada perhitungan, karena ada item lain dalam tabung seperti lampu UV maka nilai K untuk UV Unit dikali 2 menjadi = 0.82.

G. Tekanan (Head) Pompa Ballast

MV. Intan Daya 288 memiliki 2 pompa ballast dengan fungsi yang berbeda sehingga pada perhitungan head total pompa ballast MV. Intan Daya 288 dilakukan 2 kali perhitungan untuk masing masing pompa.

H. Perhitungan Tekanan (Head Total) Pompa Balas pada sisi Suction

Head statis (h stat)

Berdasarkan data yang ada maka dapat ditentukan nilai head statis pada sisi suction BWTS dengan menggunakan persamaan (2) berikut:

$$h_{stat} = 7 \text{ m} + 0 \text{ m}$$

$$h_{stat} = 7 \text{ meter}$$

Head Tekanan (Δh_p)

Pada penelitian ini tidak terdapat adanya perbedaan tekanan dalam tangki karena kondisi tangki yang memiliki ventilasi udara sehingga tekanan yang bekerja pada permukaan air didalam tangki adalah tekanan atmosfer.

Maka:

$$\Delta h_p = 0$$

Major losses pada sisi *suction*

Dalam menentukan nilai *major losses* pada sisi *suction*, dibutuhkan beberapa data sebagai berikut:

$$d : \text{Diameter pipa} = 200 \text{ mm} = 0.2 \text{ m}$$

$$Q : \text{Debit aliran fluida} = 0,83 \text{ m}^3/\text{s}$$

A : Luas penampang (m^2) dimana luas penampang (A) dapat ditentukan dengan menggunakan persamaan (8) sebagai berikut:

$$A = \frac{1}{4} \times \frac{22}{7} \times (0.2)^2 = 0.0314 \text{ m}^2$$

Maka kecepatan aliran air (v) dalam pipa pada sisi *suction* dapat diperoleh menggunakan persamaan (7) sebagai berikut:

$$v = \frac{0.083 \text{ m}^3/\text{s}}{0.0314 \text{ m}^2} = 2.64 \text{ m/s}$$

Maka dengan menggunakan formula (6) diperoleh nilai *major losses* pada sisi *suction* (h_f) sebagai berikut:

Dimana:

$$(\lambda) = 0.046$$

$$L = \text{Panjang suction} = 16 \text{ m}$$

$$d = \text{diameter pipa} = 200 \text{ mm} = 0.2 \text{ m}$$

$$V = 2,64 \text{ m/s}$$

$$g = 9,81 \text{ m/s}^2$$

Maka:

$$h_f = 0.046 \times \frac{16}{0.2} \times \frac{(2.64)^2}{2 \times 9.81} = 0.4951 \text{ m}$$

Perhitungan *minor losses* pada sisi *suction*

Dimana:

$$V = 2,64 \text{ m/s}$$

$$g = 9,81 \text{ m/s}^2$$

Untuk nilai k pada accessories dapat dilihat pada lampiran (*Sumber: Plumbing Supply 2023*)

Tabel 5. Accessories Pada Sisi Suction

No	Accessories	n	k
1	Elbow 90°	3	0.42
2	Valve	5	0.63
3	T Joint	1	0.84
4	UV Unit	1	0.84
5	Filter	1	1.7

Maka dapat ditentukan nilai *minor losses* pada masing masing accessories yang digunakan sebagai berikut:

$$\text{Elbow } 90^\circ = 0.42 \times \frac{(2.64)^2}{2 \times 9.81} = 0.149 \times 3 = 0.447 \text{ m}$$

$$\text{Tee} = 0.84 \times \frac{(2.64)^2}{2 \times 9.81} = 0.298 \times 1 = 0.298 \text{ m}$$

$$\text{Valve} = 0.63 \times \frac{(2.64)^2}{2 \times 9.81} = 0.223 \times 5 = 1.115 \text{ m}$$

$$\text{UV Unit} = 0.84 \times \frac{(2.64)^2}{2 \times 9.81} = 0.298 = 0.298 \text{ m}$$

$$\text{Fillter} = 1.7 \times \frac{(2.64)^2}{2 \times 9.81} = 0.603 = 0.603 \text{ m}$$

Setelah mendapatkan nilai head losses mayor (hf) dan head losses minor (hm). Kerugian head pompa (h₁) dapat dihitung dengan menggunakan persamaan (4) sebagai berikut:

$$h_1 \text{ Suction} = 0.4951 \text{ m} + 2.761 \text{ m} = 3.2561 \text{ m}$$

setelah diketahui nilai h₁, maka selanjutnya head pompa yang terpasang pada sisi suction dapat di tentukan.

Diketahui:

$$\text{Head statis (hs)} = 7 \text{ meter}$$

$$\text{Head tekanan } (\Delta h_p) = 0$$

$$\text{Head Losses (h}_1) = 3.2561 \text{ meter}$$

Maka:

$$H = 7 + 0 + 3.2561 + \frac{(2.64 \times 0.2)^2}{2 \times 9.81}$$

$$H = 7 + 0 + 3.2561 + 0.0142$$

$$H = 10.2703 \text{ Meter}$$

$$\text{Head total suction} = 10.2703 \text{ Meter}$$

$$\text{Head Pompa yang Terpasang pada sisi suction} = 30 \text{ m}$$

Karena head pompa terpasang > dari head total hasil perhitungan, maka tidak perlu dilakukan pergantian pompa pada sisi suction untuk menunjang pengoperasian BWTS pada MV.Intan Daya 288.

I. Perhitungan Tekanan (Head Total) Pompa Balas pada sisi discharge

Head statis (h stat)

Berdasarkan data yang ada maka dapat ditentukan nilai heat statis pada sisi suction BWTS dengan menggunakan persamaan (2) berikut:

$$h_{\text{stat}} = 6 \text{ m} + 7 \text{ m}$$

$$h_{\text{stat}} = 13 \text{ m}$$

Head Tekanan (Δh_p)

Pada penelitian ini tidak terdapat adanya perbedaan tekanan dalam tangki karena kondisi tangki yang memiliki ventilasi udara sehingga tekanan yang bekerja pada permukaan air didalam tangki adalah tekanan atmosfer.

Maka:

$$\Delta h_p = 0$$

Major losses pada sisi *suction*

Dalam menentukan nilai major losses pada sisi suction, dibutuhkan beberapa data sebagai berikut:

$$d : \text{Diameter pipa} = 200 \text{ mm} = 0.2 \text{ m}$$

$$Q : \text{Debit aliran fluida} = 0,83 \text{ m}^3/\text{s}$$

A : Luas penampang (m²) dimana luas penampang (A) dapat ditentukan dengan menggunakan persamaan (8) sebagai berikut:

$$A = \frac{1}{4} \times \frac{22}{7} \times (0.2)^2 = 0.0314 \text{ m}^2$$

Maka kecepatan aliran air (v) dalam pipa pada sisi suction dapat diperoleh menggunakan persamaan (7) sebagai berikut:

$$v = \frac{0.083 m^3/s}{0.0314 m^2} = 2.64 m/s$$

Maka dengan menggunakan formula (6) diperoleh nilai major losses pada sisi discharge (h_f) sebagai berikut:

Dimana:

$$(\lambda) = 0.046$$

L = Panjang discharge = 19 m

d = diameter pipa = 200 mm = 0.2 m

$$V = 2,64 m/s$$

$$g = 9,81 m/s$$

Maka:

$$h_f = 0.046 \times \frac{19}{0.2} \times \frac{(2.64)^2}{2 \times 9.81} = 0.5881 m$$

Perhitungan *minor losses* pada sisi *discharge*

Dimana:

$$V = 2,64 m/s$$

$$g = 9,81 m/s$$

Untuk nilai k pada accessories dapat dilihat pada lampiran (*Sumber: Plumbing Supply 2023*)

Tabel 6. Accessories Pada Sisi Suction

No	Accessories	n	k
1	Elbow 90°	3	0.42
2	Valve	5	0.63
3	T Joint	1	0.84
4	UV Unit	1	0.84
5	Fillter	1	1.7

Maka dapat ditentukan nilai minor losses pada masing masing accessories yang digunakan sebagai berikut:

$$\text{Elbow } 90^\circ = 0.42 \times \frac{(2.64)^2}{2 \times 9.81} = 0.149 \times 3 = 0.447 m$$

$$\text{Tee} = 0.84 \times \frac{(2.64)^2}{2 \times 9.81} = 0.298 \times 1 = 0.298 m$$

$$\text{Valve} = 0.63 \times \frac{(2.64)^2}{2 \times 9.81} = 0.223 \times 5 = 1.115 m$$

$$\text{UV Unit} = 0.84 \times \frac{(2.64)^2}{2 \times 9.81} = 0.298 = 0.298 m$$

$$\text{Fillter} = 1.7 \times \frac{(2.64)^2}{2 \times 9.81} = 0.603 = 0.603 m$$

Setelah mendapatkan nilai head losses mayor (h_f) dan head losses minor (h_m). Kerugian head pompa (h_1) dapat dihitung dengan menggunakan persamaan (4) sebagai berikut:

$$h_1 \text{ discharge} = 0,5881 m + 2.761 m = 3.34961 m$$

setelah diketahui nilai h_1 , maka selanjutnya head pompa yang terpasang pada sisi dscharge dapat di tentukan.

Diketahui:

Head statis (hs) = 13 meter
Head tekanan (Δh_p) = 0
Head Losses (h1) = 3.3491 meter

Maka:

$$H = 13 + 0 + 3.3491 + \frac{(2.64 \times 0.2)^2}{2 \times 9.81}$$

$$H = 13 + 0 + 0,0142$$

Head total discharge = 16,1633 Meter

Head Pompa yang Terpasang pada sisi discharge = 30 m

Karena head pompa terpasang > dari head total hasil perhitungan, maka tidak perlu dilakukan pergantian pompa pada discharge suction untuk menunjang pengoperasian BWTS pada MV. Intan Daya 288.

J. Kapasitas Pompa Ballast BWTS

Waktu pengisian tangki ballast (t) = 20 jam
Volume Ballast (VB) = 5651 MT

$$\text{maka: } Q = \frac{5651}{20} = 282.55 \text{ m}^3/\text{jam}$$

Kapasitas Pompa (Q) = 300 m³/jam
Volume Ballast (VB) = 5651 MT

$$\text{maka: } t_B = \frac{5651}{300} = 18.836 \text{ jam}$$

4. SIMPULAN

Kapal MV. Intan Daya 288 dapat menggunakan sistem BWTS kombinasi antara Filter dan UV Unit sebagai metode treatmentnya tanpa harus melakukan pergantian pompa ballast yang ada pada MV. Intan Daya 288. Berikut ini merupakan spesifikasi pada UV Unit dan Filter dalam hasil perancangan:

UV Unit

Name : Desmi Ocean Guard
Description : V20066
Max Flow : 370 m³/h
Max Power : 36 kW
Min Power : 7.2 kW
Flange Size : DN 200
Volume : 42 Liter
Dry Weight : 150 kg
Dimensions : 776 x 828 x 438 (mm)

Filter

Name : Desmi Ocean Guard
Description : F0340
Max Flow : 340 m³/h
Pipe Size : DN 200
Mechanical : Filter 340 M3/H DN 200/65 BZ AL

DAFTAR PUSTAKA

- Arif, Kurniawati, & Misbah, 2018 dalam Jurnal Kapal volume 13 yang berjudul “Analisa Teknis dan Ekonomis Pemilihan Manajemen Air Ballast pada Kapal” Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh November
- BKI, 2017, Manajemen Air Balas, Majalah Biro Klasifikasi Indonesia.
- Desmi Ocean Guard, 2020, Ballast Water Management System Compactclean

- Eko Prasetyo Putro, 2020, Analisis Head Pompa Sentrifugal Pada Rangkaian Seri dan Paralel: Universitas Muhammadiyah Sidoarjo
- I Putu Dewangga Putra Bendesa, 2021, *Rancangan Ballast Water Treatment System (BWTS) Pada Kapal Gas Carrier Arimbi*, Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- IMO Publications and Documents - International Conventions - BWM - International Convention for the Control and Management of Ships' Ballast Water and Sediments, 2004 - Annex - Regulations for the Control and Management of Ships' Ballast Water and Sediments - Section D - Standards for Ballast Water Management, IMO MEPC 56/23 Annex 2 Conference, National Conference Proceeding on Waste Treatment Technology
- Life After Treatment, Journal Applied Phycology 2022 *Evaluating Efficacy Of A Ballast Water Filtration System for Reducing Spread of Aquatic Species In Freshwater Ecosystems*.
- Muhammad Ravi Valerian 2022 *Analisis Perancangan Sistem Perpipaan Bwts Dengan Radiasi Uv Pada Mv Guo Tai Ping An*. Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh Nopember
- Nicholas Panoguan 2018 *Studi Perbandingan Teknis dan Ekonomis Antara Metode Ballast Water Treatment Radiasi Ultraviolet dan Ozone Treatment Pada Kapal Tanker Pertamina*. Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh Nopember
- Rifat Al Farid 2021, *Analisa Teknis dan Ekonomis Perancangan Water Ballast Treatnmet Metoda Filtration + UV pada Kapal Transko Aquila 3592 DWT*. Jurnal Invotek Polbeng, VOL. 11.2.
- Soelarso 2006, *Pompa dan Kompresor*: PT Pradnya Paramita Jakarta