

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Kapal sebagai sarana transportasi utama dalam perdagangan global, memainkan peran vital dalam menghubungkan berbagai belahan dunia. Namun, aktivitas pelayaran juga membawa dampak signifikan terhadap lingkungan, salah satunya adalah penyebaran spesies invasif melalui air *Ballast*. Air *Ballast*, yang diambil dan dilepaskan oleh kapal untuk menjaga stabilitas, seringkali mengandung organisme laut yang dapat mengancam ekosistem lokal di pelabuhan tujuan.

Sistem *Water Ballast Treatment System (WBTS)* pada kapal memiliki peran penting dalam menjaga stabilitas dan keseimbangan kapal selama pelayaran. *Ballast* air digunakan untuk mengontrol draft kapal, meningkatkan efisiensi bahan bakar, serta memastikan keselamatan saat bongkar muat. Namun, air *Ballast* yang diambil dari satu perairan dan dibuang di lokasi lain berpotensi membawa organisme laut invasif yang dapat merusak ekosistem setempat. Oleh karena itu, *International Maritime Organization (IMO)* melalui *Ballast Water Management (BWM) Convention* mewajibkan setiap kapal memiliki sistem pengolahan air *Ballast* yang sesuai dengan standar internasional (*IMO*, 2020).

Konvensi Internasional Pengelolaan Air *Ballast* dan Sedimen Kapal (*BWM Convention*) yang diadopsi oleh *International Maritime Organization (IMO)* pada tahun 2004, dan mulai berlaku efektif pada tahun 2017, bertujuan untuk mengatasi masalah ini. Konvensi ini menetapkan standar dan regulasi yang ketat terkait pengelolaan air *Ballast*, mengharuskan kapal untuk memasang sistem pengolahan air *Ballast (BWTS)* yang efektif.

Namun, implementasi *BWM Convention* menghadapi berbagai tantangan. Beberapa sistem *BWTS* yang ada menunjukkan kinerja yang kurang optimal, baik dari segi efektivitas pengolahan, biaya operasional, maupun dampak lingkungan. Selain itu, perkembangan teknologi dan regulasi yang dinamis menuntut adanya inovasi dan peningkatan berkelanjutan dalam desain dan pengoperasian *BWTS*.

Dalam upaya meningkatkan efisiensi dan kepatuhan terhadap regulasi, re-desain *Water Ballast treatment System (WBTS)* menjadi solusi yang diperlukan untuk menyesuaikan sistem yang ada dengan teknologi terbaru. Beberapa metode modern dalam pengolahan air *Ballast* mencakup teknologi filtrasi, sinar UV, serta elektroklorinasi, yang lebih efektif dalam membunuh organisme laut tanpa menghasilkan limbah berbahaya.

Dalam penelitian ini, kapal Sampel X dijadikan sebagai objek studi dan acuan spesifik dalam perancangan *BWTS*. Kapal ini merepresentasikan jenis kapal Cargo yang aktif berlayar secara internasional seperti rute Xinha (CN) –

Humen (CN) – Dongguan – Cirebon (ID), yang otomatis melibatkan pengambilan dan pembuangan air *Ballast* di berbagai perairan. Oleh karena itu, perancangan *BWTS* pada kapal ini harus mampu menjamin kepatuhan regulasi internasional sekaligus mengoptimalkan kinerja operasional kapal.

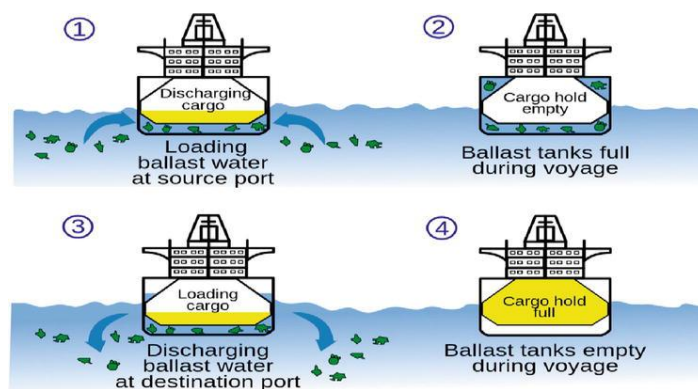
Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis dan merancang ulang sistem pengolahan air *Ballast* yang lebih efisien, ramah lingkungan, dan sesuai dengan regulasi yang berlaku. Dengan melakukan re-desain sistem *BWTS*, diharapkan kapal dapat meningkatkan kinerja operasionalnya, mengurangi dampak negatif terhadap lingkungan, serta memenuhi persyaratan *IMO* dan otoritas maritim lainnya.

Dengan demikian, kajian ini akan berfokus pada evaluasi sistem *BWTS* yang ada, identifikasi tantangan utama dalam penerapannya, serta pengembangan desain baru yang lebih optimal bagi kapal modern. Oleh karena itu, penulis mengangkat judul **“PERANCANGAN WATER BALLAST TREATMENT SYSTEM (BWTS) UNTUK OPTIMALISASI KINERJA DAN KEPATUHAN REGULASI”**

1.2 Teori

1.2.1. Air *Ballast*

Air *Ballast* adalah air laut yang dipindahkan kedalam tangki-tangki khusus di dalam kapal, air laut diambil dari kotak *sea chest* untuk disalurkan melalui pipa utama dan pipa cabang kemudian di distribusikan dengan pompa menuju tangki *Ballast* diatas kapal. Air *Ballast* adalah muatan tambahan yang digunakan untuk menjaga kestabilan, keseimbangan, dan trim kapal ketika kapal tidak membawa muatan kargo atau memiliki distribusi muatan yang tidak merata.



Gambar 1. Proses *Ballasting* dan *Deballasting* *Ballast*

Sumber: <https://www.anakteknik.co.id/rakhadhani/articles/mengenal-kelebihan-dan-kekurangan-sistem-ballast-pada-kapal>

Saat kapal bongkar muat menurunkan muatan pada pelabuhan tujuan dan secara bersamaan kapal memuat air balas agar posisi kapal seimbang. air balas yang memenuhi tangki diduga mengandung mikroorganisme sampai pelabuhan tujuan berikutnya. Ketika telah sampai pelabuhan, kapal memuat barang dan secara bersamaan membuang air balas. Semakin banyak kapal yang datang dan pergi di pelabuhan, maka semakin banyak volume air balas yang dituang/dibuang ke perairan, dengan segala polutan yang ada di dalamnya. Apabila air balas mengandung mikroorganisme, berupa bakteri, jamur atau invertebrata kecil lain beserta telur, larva, spora dan kista serta logam berat maka dapat menimbulkan masalah, karena air laut yang dimasukkan ke dalam tangki *Ballast* pada umumnya adalah air yang tidak terdeteksi kualitasnya, bisa jadi membawa polutan fisik maupun biologis. Polutan fisik mudah terdeteksi dari bau, warna maupun penampakan lain sedangkan polutan biologis sangat sulit dideteksi, terutama mikroorganisme patogen. Apabila air laut berasal dari pelabuhan yang lingkungan perairannya kurang baik, maka kontaminan yang ada di pelabuhan tersebut akan tersebar keseluruh penjuru dunia, di tempat kapal tersebut nantinya berlabuh atau sandar dan membuang air balas. (Marwah Daud Abada Robby, 2023)

Komponen-komponen utama dari sistem *Ballast* pada kapal antara lain:

1. *Sea Chest*, kotak laut (*sea chest*) adalah suatu perangkat yang berhubungan dengan air laut yang menempel pada sisi dalam dari pelat kulit kapal yang berada dibawah permukaan air dipergunakan untuk mengalirkan air laut kedalam kapal sehingga kebutuhan sistem air laut (*sea water system*) dapat dipenuhi. *sea chest* pada lambung kapal harus diatur pada kedua sisi kapal dan dipasang serendah mungkin, dan dilengkapi dengan pipa-pipa uap atau pipa udara dengan diameter disesuaikan dengan besarnya *sea chest* dan paling diatas geladak sekat. Juga dilengkapi dengan saringan air laut untuk mencegah masuknya kotoran yang akan menyumbat saluran dari bottom valve.
2. Pipa, pipa dalam sistem *Ballast* kapal adalah komponen yang bertindak sebagai jalur sirkulasi utama untuk mengalirkan air laut masuk dan keluar dari tangki-tangki *Ballast*. Pipa *Ballast* harus dirancang sedemikian rupa dan tidak boleh melewati instalasi tangki air minum, tanki bahan bakar, dan tanki pelumasan.
3. *Strainer*, merupakan komponen yang didesain untuk menyaring dan menahan partikel-partikel padat untuk melindungi komponen-komponen vital lainnya yang berada setelah *strainer*, terutama pompa *Ballast*. Partikel-partikel yang disaring berupa pasir, lumpur, sampah, atau biota laut yang ikut terhisap bersama air laut.

4. Valve, merupakan komponen yang mengatur membuka, menutup atau menghambat aliran fluida disuatu sistem pipa pada kapal.
5. Manifold, Secara spesifik manifold di kapal adalah sebuah blok atau rakitan pipa yang memiliki satu jalur masuk (inlet) dan beberapa jalur keluar (outlet), atau beberapa jalur masuk (inlet) yang bertemu pada satu jalur keluar (outlet) dan dilengkapi dengan berbagai valve (katub) pada setiap cabangnya. Fungsinya adalah untuk mendistribusikan aliran fluida secara terorganisir dan terkoordinasi.
6. Pompa *Ballast*, Pompa adalah alat yang berfungsi memberikan tenaga pendorong terhadap fluida sehingga fluida dapat mengalir berpindah tempat dari tempat yang rendah ke tempat yang lebih tinggi (arah vertikal) atau arah secara mendatar (horizontal). Dalam instalasi perpipaan jenis pompa yang umum adalah pompa rotari dan pompa sentrifugal. Untuk fluida yang memiliki viskositas tinggi menggunakan pompa rotary seperti bahan bakar, sedangkan untuk fluida yang memiliki viskositas yang rendah menggunakan jenis pompa sentrifugal seperti air laut dan air tawar.

- Kapasitas Pompa

Persamaan yang digunakan untuk menghitung kapasitas pompa dikutip dari buku "Tahara, H. (t.t.). Pompa dan Kompresor." Sebagai berikut;

$$Q = \frac{V \text{ m}^3}{t \text{ jam}} \quad (1)$$

Dimana:

V = Volume tangki *Ballast*.

T = Waktu pengisian tangki *Ballast*.

7. Tangki *Ballast*, merupakan wadah yang berfungsi untuk menampung fluida diatas kapal.

- Volume Tangki "Simpson, Jurnal Rekayasa Hijau, Vol 2"

$$\text{Vol} = 1/3 \cdot h \cdot \Sigma \quad (2)$$

Dimana:

h = Jarak Gading

Σ = Jumlah dari hasil kali disetiap ordinat

8. *Overboard*, merupakan saluran pembuangan air *Ballast* dari kapal kelaut yang berlokasi pada lambung kapal.

Air *Ballast* yang diambil dari satu perairan dan dibuang di perairan lain dapat menyebabkan perpindahan organisme laut yang tidak diinginkan (*invasive species*). Organisme ini dapat merusak ekosistem lokal, mengganggu keanekaragaman hayati, serta menimbulkan dampak negatif pada perikanan dan industri lokal.

Untuk mengatasi hal ini, *International Maritime Organization (IMO)* menerbitkan ***Ballast Water Management Convention (BWMC)*** pada tahun 2004, yang mewajibkan kapal-kapal untuk mengelola air *Ballast* dengan cara yang ramah lingkungan.

1.2.2. Mikroorganisme

Mikroorganisme adalah organisme mikroskopis yang hidup di lingkungan perairan, yang meliputi bakteri, virus, alga, protozoa, dan jamur. Dalam konteks sistem *Ballast* kapal, mikroorganisme ini dapat terbawa bersama air *Ballast* yang diambil dari satu wilayah perairan dan dipindahkan ke wilayah lain melalui proses pembuangan air *Ballast*. Proses ini berpotensi memindahkan spesies asing ke ekosistem baru yang tidak memiliki predator alami atau mekanisme pengendali, sehingga dapat berkembang secara tidak terkendali dan mengganggu keseimbangan ekosistem lokal.

Beberapa mikroorganisme patogen yang telah diidentifikasi dalam air *Ballast* meliputi:

- *Vibrio cholerae*, penyebab penyakit kolera yang dapat membahayakan kesehatan manusia.
- *Escherichia coli* dan *Enterococcus spp.*, sebagai indikator pencemaran fekal yang dapat mengkontaminasi sumber air dan hasil perikanan.
- *Cryptosporidium* dan *Giardia lamblia*, protozoa penyebab gangguan pencernaan yang tahan terhadap proses desinfeksi konvensional.
- Alga penyebab red tide (*Alexandrium spp.*, *Karenia brevis*) yang menghasilkan racun dan berdampak negatif pada biota laut dan industri perikanan.

Kehadiran mikroorganisme tersebut di lingkungan yang baru dapat menimbulkan ancaman serius, seperti gangguan terhadap keanekaragaman hayati, kerusakan rantai makanan laut, bahkan gangguan terhadap aktivitas ekonomi masyarakat pesisir. Oleh karena itu, sistem *Water Ballast treatment System (BWTS)* dirancang untuk mengeliminasi mikroorganisme dalam air *Ballast* sebelum dilepaskan ke perairan, guna mencegah penyebaran spesies invasif dan patogen serta memenuhi standar *IMO D-2* yang mengatur jumlah mikroorganisme maksimum dalam air *Ballast* yang dibuang.

Tabel 1. Jenis Mikroorganisme dalam Air *Ballast* dan Dampaknya

No	Nama Mikroorganisme	Jenis	Dampak Terhadap Lingkungan/Manusia
1	<i>Vibrio cholerae</i>	Bakteri	Menyebabkan kolera; penyakit diare akut yang dapat menimbulkan kematian.
2	<i>Escherichia coli</i>	Bakteri	Indikator pencemaran fekal; dapat menyebabkan infeksi saluran pencernaan.
3	<i>Enterococcus spp</i>	Bakteri	Menyebabkan infeksi saluran kemih dan luka; indikator pencemaran fekal.
4	<i>Cryptosporidium spp</i>	Protozoa	Menyebabkan diare parah; resisten terhadap klorinasi air biasa.
5	<i>Giardia lamblia</i>	Protozoa	Menyebabkan giardiasis (gangguan pencernaan); bersifat infeksius.
6	<i>Alexandrium spp</i>	Alga (dinoflagellata)	Penyebab red tide; menghasilkan toksin parolitik yang berbahaya bagi kerang-kerangan.
7	<i>Karenia brevis</i>	Alga	Memacu red tide; menghasilkan brevetoksin yang mematikan bagi ikan dan berdampak pada manusia.
8	Norovirus	Virus	Menyebabkan mual, muntah, dan diare; sangat menular melalui air atau makanan laut terkontaminasi.

Sumber: Analisa Teknis dan Ekonomis Pemilihan Manajemen Air *Ballast* pada Kapal, 2016

Mikroorganisme yang masuk ke dalam tangki *Ballast* dapat mulai berkembang biak dalam waktu singkat tergantung pada kondisi lingkungan di dalam tangki seperti suhu, ketersediaan nutrisi, dan tingkat cahaya. Salah satu studi menunjukkan bahwa populasi mikroorganisme dalam tangki *Ballast* dapat mengalami peningkatan signifikan dalam waktu 3 hingga 7 hari, terutama pada kondisi stagnan dan suhu air hangat. Hal ini memperbesar risiko pelepasan organisme yang telah berkembang ke lingkungan baru saat proses *DeBallasting*. (Drake, L. A, 2002)

Organisme yang terbawa dalam air *Ballast* mengalami penurunan jumlah selama pelayaran. Penelitian menunjukkan bahwa penurunan paling signifikan terjadi dalam 3 hari pertama, dan setelah 10 hari sebagian besar organisme ditemukan dalam kondisi mati. Namun demikian, ada pengecualian di mana beberapa spesies seperti harpacticoid copepods justru berkembang biak dan meningkat jumlahnya selama pelayaran. Hal ini menunjukkan bahwa kondisi di dalam tangki *Ballast* memungkinkan terjadinya pertumbuhan atau reproduksi bagi jenis organisme tertentu, terutama jika tidak ada sistem pengolahan air *Ballast* yang memadai. (Gollasch S, 2007).

1.2.3. Regulasi

Dalam konteks pengelolaan air *Ballast*, regulasi internasional menjadi acuan utama dalam memastikan bahwa setiap kapal mematuhi standar lingkungan yang ditetapkan secara global. Regulasi tersebut bertujuan untuk mencegah penyebaran spesies asing yang invasif melalui pelepasan air *Ballast* ke lingkungan laut yang berbeda. Untuk itu, regulasi internasional dan nasional telah disusun untuk mengatur sistem pengelolaan air *Ballast* agar sesuai dengan prinsip pelestarian lingkungan laut dan keselamatan maritim.

1.2.3.1. *International Maritime Organization (IMO)*

Regulasi utama di tingkat internasional adalah *Ballast Water Management Convention (BWMC)* yang diadopsi oleh *International Maritime Organization (IMO)* pada tahun 2004 dan mulai berlaku efektif sejak 8 September 2017. Konvensi ini mewajibkan kapal-kapal untuk mengelola air *Ballast* secara ramah lingkungan dengan menggunakan sistem pengolahan (*BWTS*) yang memenuhi standar kinerja tertentu.

1. **Standar D-1 (*Ballast Water Exchange Standard*):** Mengharuskan kapal melakukan pertukaran air *Ballast* di laut terbuka minimal 200 mil dari garis pantai dan pada kedalaman lebih dari 200 meter.
2. **Standar D-2 (*Ballast Water Performance Standard*):** Menetapkan batas maksimum jumlah organisme hidup yang diperbolehkan dalam air *Ballast* yang dibuang ke laut. Standar ini hanya dapat dipenuhi dengan penggunaan sistem pengolahan air *Ballast* (*BWTS*) yang telah disetujui.

Tabel 2. Batas Maksimum Mikroorganisme Air *Ballast* (IMO D-2)

Jenis Organisme	Batas Maksimal yang Diizinkan dalam Air <i>Ballast</i> Buangan
Organisme ≥ 50 mikron	< 10 organisme per m ³
Organisme 10–50 mikron	< 10 organisme per mL
<i>Vibrio cholerae</i> (O1 & O139)	< 1 CFU per 100 mL
<i>Escherichia coli</i>	< 250 CFU per 100 mL
<i>Enterococcus</i> spp	< 100 CFU per 100 mL

Sumber: *IMO Ballast Water Management Convention*

Selain itu, *IMO* juga menerbitkan berbagai pedoman teknis (*IMO Guidelines*) seperti G8 (*Revised Guidelines for the Approval of Ballast Water Management Systems*) yang memberikan kriteria evaluasi sistem *BWTS* sebelum diizinkan untuk dipasang di kapal.

Pedoman ini bertujuan untuk memastikan bahwa setiap sistem *BWTS* yang akan digunakan di kapal:

1. Telah diuji secara ketat secara laboratorium dan lapangan, termasuk efektivitas membunuh organisme target.
2. Aman digunakan pada kapal, tanpa menimbulkan risiko korosi, limbah beracun, atau gangguan operasional.
3. Tidak mengganggu lingkungan laut, baik dari produk sampingan pengolahan maupun residu kimia.
4. Telah memperoleh sertifikasi type approval dari negara anggota *IMO* yang berwenang.

1.2.3.2. Standar Nasional Indonesia

Sebagai respons terhadap permasalahan global mengenai penyebaran spesies invasif melalui air *Ballast* kapal, *International Maritime Organization (IMO)* mengeluarkan *Ballast Water Management (BWM) Convention* pada tahun 2004. Konvensi ini mulai berlaku secara internasional pada tanggal 8 September 2017 dan mewajibkan kapal-kapal yang berlayar secara internasional untuk memiliki sistem pengelolaan air *Ballast (BWTS)* yang memenuhi standar lingkungan.

Menindaklanjuti ketentuan *IMO* tersebut, pemerintah Republik Indonesia, melalui kementerian dan lembaga terkait, secara bertahap mengeluarkan sejumlah peraturan perundang-undangan sebagai implementasi dari *BWM Convention*. Tujuannya adalah untuk memastikan perlindungan lingkungan laut nasional serta menjamin kepatuhan kapal berbendera Indonesia terhadap aturan internasional.

Berikut ini adalah daftar peraturan nasional yang dikeluarkan Indonesia, dari yang bersifat umum hingga yang secara khusus mengatur tentang implementasi standar D-1 dan D-2 dari *IMO*:

1. **Peraturan Menteri Perhubungan No. KM 4 Tahun 2005** tentang Pencegahan Pencemaran dari Kapal, disahkan pada 20 Januari 2005. Peraturan ini mewajibkan kapal memiliki peralatan pencegahan pencemaran, tetapi belum mengatur secara spesifik mengenai pengelolaan air *Ballast*.
2. **Undang-Undang Republik Indonesia No. 17 Tahun 2008** tentang Pelayaran, disahkan pada 7 Mei 2008. Undang-undang ini mengatur bahwa kapal harus dilengkapi dengan perlengkapan pencegahan pencemaran, namun belum menyebutkan secara khusus pengelolaan air *Ballast*.
3. **Peraturan Pemerintah No. 21 Tahun 2010** tentang Perlindungan Lingkungan Maritim, disahkan pada 1 Februari 2010. Peraturan ini mulai menyebutkan bahwa kapal dengan GT di atas 400 wajib memiliki sistem manajemen air *Ballast* yang ditetapkan oleh Menteri.
4. **Peraturan Menteri Perhubungan No. PM 29 Tahun 2014** menggantikan KM 4 Tahun 2005 dan secara spesifik mulai menyelaraskan ketentuan nasional dengan *BWM Convention*. Pasal 48 menyatakan bahwa kapal dengan $GT \geq 400$ dan kapasitas air *Ballast* lebih dari 1500 m^3 yang berlayar internasional wajib memenuhi ketentuan *BWM Convention*. Namun kapal yang hanya beroperasi di pelabuhan domestik atau dalam radius ≤ 50 mil laut tidak diwajibkan.
5. **Peraturan Presiden No. 132 Tahun 2015**, disahkan pada 5 November 2015, secara resmi meratifikasi *The International Convention for the Control and Management of Ship's Ballast Water and Sediments, 2004 (BWM Convention)* ke dalam sistem hukum nasional.
6. **Surat Edaran Dirjen Perhubungan Laut No. UM.003/8/6/DK-17**, dikeluarkan pada 25 April 2017, menyatakan bahwa pertukaran air *Ballast* (standar D-1) masih diperbolehkan hingga 2020. Namun kapal dengan kapasitas *Ballast* $>5000 \text{ m}^3$ dan dibangun setelah 2012 wajib langsung mengikuti standar D-2.

7. **Surat Edaran No. UM.003/73/9/DJPL-17**, mengatur bahwa kapal baru yang dibangun setelah 8 September 2017 wajib mengikuti standar D-2. Kapal existing yang dibangun sebelum tanggal tersebut diberikan tenggat waktu hingga 2024. Kapal domestik dengan kapasitas *Ballast* >1500 m³ dapat diberikan Sertifikat Nasional D-1 paling lambat 1 Maret 2018.
8. **Surat Edaran No. SE.20 Tahun 2019**, disahkan pada 29 Mei 2019, menyatakan bahwa kapal baru dan kapal lama yang memperbarui sertifikat setelah 8 September 2019 harus menggunakan metode pengolahan air *Ballast* D-2. Namun, sertifikat D-1 yang masih berlaku sebelum tanggal tersebut tetap bisa digunakan hingga 7 September 2024.

Dari kronologi tersebut dapat disimpulkan bahwa penerapan penuh *BWM Convention* di Indonesia membutuhkan waktu bertahap dan adaptasi panjang, dengan mempertimbangkan kondisi teknis dan ekonomi pelayaran nasional. Sekitar 80% kapal berbendera Indonesia merupakan kapal bekas, dan sebagian besar kapal domestik tidak memiliki kapasitas air *Ballast* >1500 m³. Oleh karena itu, hingga 1 Maret 2018, kapal domestik dengan tangki *Ballast* besar baru diwajibkan mengikuti standar D-1. Sedangkan kapal internasional wajib mengikuti standar D-2 paling lambat 8 September 2024.

Perbedaan perlakuan ini muncul karena kapal yang berlayar internasional harus tunduk pada regulasi negara tujuan. Jika tidak memenuhi ketentuan, maka kapal dapat dilarang beroperasi di pelabuhan asing. Ke depan, dengan tenggat waktu 2024 semakin dekat, tidak menutup kemungkinan akan diterbitkan peraturan atau surat edaran tambahan dari pemerintah Indonesia untuk menyesuaikan implementasi *BWM Convention* secara menyeluruh.

1.2.4. *Ballast Water Treatment*

Ballast Water Treatment System (BWTS) merupakan sistem yang dirancang untuk mengolah air *Ballast* sebelum dibuang ke laut, guna mencegah penyebaran spesies invasif dan organisme patogen antar wilayah perairan. Sistem ini menjadi wajib diterapkan berdasarkan ketentuan dari *International Maritime Organization (IMO)* melalui konvensi *Ballast Water Management (BWM) Convention* yang berlaku sejak tahun 2017. Dalam konvensi tersebut, setiap kapal diwajibkan untuk memenuhi standar pengolahan air *Ballast* D-2, yaitu membatasi jumlah organisme hidup yang boleh terdapat dalam air *Ballast* yang dibuang ke lingkungan laut.

Sistem pengolahan air *Ballast* harus mampu mengurangi atau menonaktifkan organisme berbahaya tanpa menimbulkan dampak negatif terhadap manusia, lingkungan, atau struktur kapal. Oleh karena itu, *IMO* telah menyetujui beberapa metode pengolahan (*treatment methods*) yang aman dan efektif. Metode-metode tersebut dapat diterapkan secara tunggal maupun kombinasi dan harus mendapat persetujuan tipe (*type approval*) dari otoritas yang berwenang.

Metode Pengolahan Air *Ballast* yang Disetujui oleh *IMO*:

1.2.4.1 Filtrasi Mekanis (Mechanical Filtration)

Filtrasi merupakan metode pengolahan awal yang digunakan untuk menyaring partikel padat, sedimen, serta organisme berukuran besar (umumnya ≥ 50 mikron) sebelum air *Ballast* masuk ke tahap pengolahan lanjutan. Proses ini menggunakan filter mikro seperti screen filter atau disc filter yang mampu menangkap organisme makroskopis seperti zooplankton dan larva.

Filtrasi biasanya dipasang sebagai komponen pertama dalam sistem *BWTS* dan bekerja secara otomatis saat proses *Ballast* dan de-*Ballast* berlangsung. Keunggulannya adalah tidak menggunakan bahan kimia serta dapat mengurangi beban pada proses disinfeksi berikutnya. Namun, kelemahannya adalah risiko penyumbatan dan perlunya sistem pembersih otomatis (*Self-cleaning system*).

1.2.4.2 Sinar Ultraviolet (UV Treatment)

Metode *UV* menggunakan radiasi cahaya *Ultraviolet* dengan panjang gelombang 254 nm untuk menonaktifkan DNA mikroorganisme dalam air *Ballast*. Proses ini menghancurkan kemampuan organisme untuk berkembang biak tanpa membunuh secara langsung.

Sistem *UV* sangat efektif untuk organisme mikroskopis (bakteri, protozoa, alga) dan tidak memerlukan bahan kimia, sehingga aman untuk lingkungan dan kru. Metode ini cocok digunakan di perairan dengan tingkat kejernihan tinggi. Kelemahannya adalah berkurangnya efektivitas di air keruh atau berlumpur, serta perlunya perawatan rutin pada lampu *UV*.

1.2.4.3 Elektrolisis / Elektroklorinasi

Elektrolisis adalah metode yang menghasilkan larutan disinfektan berupa sodium hypochlorite (NaOCl) langsung dari air laut menggunakan arus listrik. Cairan ini kemudian disuntikkan ke dalam sistem air *Ballast* untuk membunuh mikroorganisme secara kimiawi.

Setelah proses pengolahan, sistem ini biasanya dilengkapi dengan unit netralisasi untuk menetralkan sisa disinfektan agar tidak mencemari lingkungan. Keunggulan metode ini adalah efektivitas tinggi terhadap berbagai jenis organisme, termasuk virus dan bakteri. Kelemahannya meliputi kebutuhan energi yang cukup besar, potensi korosi pada sistem perpipaan, dan kebutuhan bahan kimia tambahan seperti natrium tiosulfat untuk netralisasi.

1.2.4.4 Injeksi Ozon (Ozonasi)

Ozonasi adalah proses pengolahan air *Ballast* dengan menyuntikkan gas ozon (O_3) yang dihasilkan secara elektrokimia dari oksigen. Ozon merupakan oksidator kuat yang dapat merusak dinding sel mikroorganisme dan menyebabkan kematian secara cepat.

Kelebihan ozonasi adalah kemampuan membunuh berbagai jenis patogen tanpa menghasilkan limbah berbahaya. Namun, ozon bersifat sangat reaktif dan beracun jika tidak dikendalikan dengan baik. Diperlukan sistem ventilasi dan sensor kebocoran ozon untuk menjamin keselamatan di atas kapal.

1.2.4.5 Injeksi Bahan Kimia (Chemical Dosing)

Metode ini melibatkan penambahan bahan kimia disinfektan, seperti biocide, chlorine dioxide, atau peracetic acid, ke dalam air *Ballast*. Zat kimia ini mampu membunuh mikroorganisme secara efektif.

Sistem ini umumnya dilengkapi dengan unit penyimpanan dan sistem injeksi otomatis, serta unit netralisasi untuk menghilangkan sisa bahan aktif sebelum air *Ballast* dibuang ke laut. Meskipun efektif, metode ini memerlukan kontrol ketat terhadap dosis dan penyimpanan bahan kimia agar tidak membahayakan lingkungan dan keselamatan kapal.

1.2.4.6 Teknologi Hidroksil Radikal (Hydroxyl Radical Technology)

Teknologi ini merupakan salah satu inovasi terbaru yang memanfaatkan reaksi elektrokimia untuk menghasilkan radikal bebas ($OH\bullet$), yang sangat reaktif dan dapat merusak struktur molekul organisme secara cepat.

Metode ini efektif terhadap mikroorganisme kecil dan tidak menghasilkan residu berbahaya. Namun, karena masih tergolong baru, penggunaannya belum seumum metode lain, dan biaya investasinya relatif tinggi.

Tabel 3. Perbandingan Metode Pengelohan Air *Ballast*

No	Metode	Efektivitas Biologis	Bahan Kimia	Konsumsi Energi	Pemeliharaan	Dampak Lingkungan
1	Filtrasi Mekanis	Sedang	tidak	Rendah	Rendah	Tidak ada
2	UV (<i>Ultraviolet</i>)	Tinggi (air jernih)	Tidak	Sedang	Sedang	Tidak ada
3	Elektrolisis	Sangat tinggi	Ya (hasil proses)	Tinggi	Sedang-tinggi	Perlu netralisasi
4	Ozonasi	Tinggi	Ya	Tinggi	Tinggi	Berpotensi toksik
5	Injeksi Bahan Kimia	Tinggi	Ya	Rendah - sedang	Sedang	Tergantung bahan
6	Hidroksil Radikal (OH•)	Sangat tinggi	Tidak	tinggi	sedang	Sangat rendah

1.3 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang di atas rumusan masalah pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana rancangan tata letak instalasi *BWTS* pada kapal yang ditinjau dari kebutuhan ruang, penempatan peralatan dan kelayakan instalasi sesuai kondisi kapal XXX?
2. Bagaimana perbandingan teknis antara sistem *BWTS* dengan metode *Ultraviolet (UV)* dan *Ozone Treatment* yang dirancang?
3. Bagaimana hasil pemilihan metode pengolahan air *Ballast* yang tepat pada kapal XXX?

1.4 Tujuan dan Manfaat

Tujuan dari penelitian ini adalah:

1. Memilih sistem *Ballast Water Treatment (BWTS)* yang paling tepat dan memenuhi persyaratan klasifikasi.
2. Mengidentifikasi faktor-faktor utama dalam merencanakan sistem *BWTS* yang sesuai dengan kondisi teknis kapal
3. Merancang jalur pipa dan pemasangan komponen *BWTS* yang paling efisien di dalam kamar mesin.

Adapun Manfaat dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Segi pengembangan teknologi *BWTS*
 Penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi signifikan dalam pengembangan teknologi *Water Ballast treatment System (BWTS)* yang lebih efektif, efisien, dan ramah lingkungan dan dapat menjadi dasar bagi inovasi desain dan implementasi *BWTS* yang lebih baik di masa depan.
2. Segi kepatuhan regulasi
 Penelitian ini akan menghasilkan solusi desain *BWTS* yang lebih sesuai dengan standar *IMO* dan regulasi nasional terkait manajemen air *Ballast*.

1.5 Batasan Masalah

Pembatasan suatu masalah digunakan untuk menghindari adanya penyimpangan maupun pelebaran pokok masalah agar penelitian lebih terarah dan memudahkan dalam pembahasan, sehingga tujuan penelitian akan tercapai. Beberapa batasan masalah dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Fokus pada Re-Desain *BWTS*, Penelitian ini akan berfokus secara khusus pada *re-desain Water Ballast treatment System (BWTS)* dan tidak mencakup metode manajemen air *Ballast* lainnya seperti pertukaran air *Ballast (Ballast water exchange)*.
2. Analisis difokuskan pada pengolahan air *Ballast* menggunakan metode *Ultraviolet (UV)* dan *Ozone Treatment* sesuai dengan sistem yang telah mendapatkan persetujuan *IMO*.
3. Penelitian ini menggunakan metode analisis teknis dan studi literatur, serta jika memungkinkan, simulasi atau studi kasus pada kapal tertentu.
4. Tidak akan mencakup pengujian lapangan yang membutuhkan eksperimen jangka panjang secara langsung.

BAB II

METODE PENELITIAN

Metode penelitian adalah dasar yang digunakan untuk mengatasi masalah yang akan dianalisis atau diselesaikan. Metode ini mencakup seluruh tahapan atau strategi yang akan diterapkan dalam menyelesaikan tugas akhir ini.

2.1 Tempat dan Waktu Penelitian

Penelitian ini dilakukan di Laboratorium Permesinan Kapal, Teknik Sistem Perkapalan Gedung Naval A UNHAS, dan Objek penelitian ini berada di PT. Biro Klasifikasi Indonesia (Persero) Cabang Madya Komersil Surabaya. Waktu penelitian ini dimulai pada bulan Mei 2025 hingga selesai. Lokasi Gedung Naval A UNHAS ini secara administratif terletak di Jl. Malino No.Km.6, Romang Lompoa, Kec. Bontomarannu, Kabupaten Gowa, Sulawesi Selatan 92171, dan PT. Biro Klasifikasi Indonesia (Persero) Cabang Madya Komersil Surabaya terletak di Graha Sucofindo Lt. 3. Jl. Kalibutih 215 Surabaya – 60252.



Gambar 2. Gedung Naval A UNHAS
Sumber: Google Maps



Gambar 3. Graha Sucofind, PT. BKI Surabaya
Sumber: Google Maps

2.2 Tahapan Penelitian

Adapun tahapan – tahapan dari penelitian ini sebagai berikut:

2.2.1 Perumusan Masalah

Pada tahap ini, penulis merumuskan masalah yang akan diselesaikan dalam penelitian ini. Rumusan masalah yang disusun menjadi aspek utama dalam melaksanakan analisa dan perencanaan sistem.

2.2.2 Studi Literatur

Pada tahap ini, penulis mengumpulkan referensi yang relevan dengan bidang penelitian sebagai landasan teori dilaksanakannya penelitian ini guna mendukung keberhasilannya. Referensi yang digunakan mencakup jurnal dan buku, peraturan regulasi *BKI*, *International Convention for the Control and Management of Ship's Ballast Water and Sediments* dari *IMO* dan halaman *online* terpercaya dalam lingkup nasional maupun internasional.

2.2.3 Pengumpulan Data

Pada tahap ini data-data yang mendukung untuk menyelesaikan permasalahan. Objek pada penelitian ini merupakan jenis kapal *Cargo* berbendera China. Berikut beberapa data yang dibutuhkan dalam penelitian ini adalah :

1. Ukuran Utama Kapal.
2. Gambar *General Arrangement*.
3. *Ballast Tank Capacity*.
4. *Ballast Pump Capacity*.
5. *Water Ballast Diagram System*.

Pada bagian ini akan disajikan tabel-tabel data yang menunjang dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

Tabel 4. Ukuran Utama Kapal

Data Kapal	Keterangan
Nama Kapal	Sampel XXX
Jenis Kapal	<i>Self-Propelled Barge</i> (SPB)
Panjang Keseluruhan (LOA)	129.00 m
Panjang Tegak Lurus (LBP)	119.20 m
Panjang Garis Air (LWL)	121.90 m
Lebar (B)	28.00 m
Tinggi (H)	7.20 m
Sarat (T)	5.14 m
Kecepatan (Vs)	8.10 Kn
Jarak Gading	0.6 m
Trayek	Dongguan (CN) – Cirebon (ID)

Tabel 5. Ballast Tank Capacity

Cabin Name $\rho = 1.025 \frac{t}{m^3}$	Location	Volume (m³)
No. 1 Side <i>Ballast</i> Tank (PS/SB)	Fr. 155 – Fr. 181	575.95 x 2
No. 2 Side <i>Ballast</i> Tank (PS/SB)	Fr. 131 – Fr. 155	572.03 x 2
No. 3 Side <i>Ballast</i> Tank (PS/SB)	Fr. 107 – Fr. 131	572.08 x 2
No. 4 Side <i>Ballast</i> Water Tank (PS/SB)	Fr. 79 – Fr. 107	667.43 x 2
No. 5 Side <i>Ballast</i> Tank (PS/SB)	Fr. 55 – Fr. 79	572.05 x 2
No. 6 Side <i>Ballast</i> Tank (PS/SB)	Fr. 31 – Fr. 55	564.96 x 2
No. 1 Bottom <i>Ballast</i> Tank (PS/SB)	Fr. 131 – Fr. 181	479.09 x 2
No. 2 Bottom <i>Ballast</i> Tank (PS/SB)	Fr. 79 – Fr. 131	540.23 x 2
No. 3 Bottom <i>Ballast</i> Tank (PS/SB)	Fr. 31 – Fr. 79	477.72 x 2
No. 1 Medium <i>Ballast</i> Water Tank (PS/SB)	Fr. 155 – Fr. 181	522.99 x 2
No. 5 Medium <i>Ballast</i> Water Tank (PS/SB)	Fr. 55 – Fr. 79	577.09 x 2
No. 7 <i>Ballast</i> Water Tank (PS/SB)	Fr. 4 – Fr. 9	50.68 x 2
Tail <i>Ballast</i> Water Tank (PS/SB)	Fr. 4	57.90 x 2
TOTAL		12520.44

2.2.4 Perencanaan Sistem BWTS

Pada tahap ini dilakukan perencanaan sistem *Water Ballast treatment System (BWTS)* berdasarkan data teknis kapal dan standar regulasi yang berlaku. Dalam perencanaan ini, digunakan software *AutoCad* untuk membantu pemodelan sistem secara detail, sehingga dapat memberikan gambaran yang akurat dengan struktur kapal.

2.2.5 Analisis dan Pembahasan

Pada tahap ini, dilakukan analisis terhadap data yang telah dikumpulkan dalam proses perancangan sistem. Melalui analisis ini, dapat dievaluasi apakah sistem yang dirancang telah memenuhi kriteria yang ditetapkan. Pembahasan meliputi spesifikasi peralatan yang dibutuhkan serta kebutuhan masing-masing komponen dalam sistem, termasuk pertimbangan dari sisi ekonomi.

2.2.6 Kesimpulan dan Saran

Pada tahap ini, peneliti menarik kesimpulan dari hasil analisis dan evaluasi terhadap sistem *Water Ballast treatment System (BWTS)* yang telah dirancang ulang. Kesimpulan mencakup efektivitas desain sistem dalam memenuhi standar regulasi internasional dan peningkatan efisiensi operasional kapal. Selain itu, diberikan saran yang relevan sebagai acuan untuk pengembangan lebih lanjut, baik dari segi teknis, pemilihan teknologi, maupun penerapan sistem di kapal-kapal sejenis. Saran ini diharapkan dapat menjadi masukan dalam implementasi berkelanjutan di masa depan.

2.3 Diagram Alur Penelitian

